

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh výroby speciálního ozubení
Production Proposal of Special Gear

Študent: Bc. Jurdík Peter

Vedúci diplomovej práce: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Konzultant diplomovej práce: Ing. Pavel Adamiec

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Peter Jurdík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh výroby speciálního ozubení**
Production Proposal of Special Gear

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Výroba ozubení.
3. Návrh nové technologie výroby ozubení.
4. Návrh řezných parametrů, strojů a nástrojů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
[2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Ing. Pavel Adamiec

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

PREHLÁSENIE ŠTUDENTA

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave 18.5.2015

Peter Jurdík

Jurdík Peter

Prehlasujem, že

- bol som zoznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, hlavne §35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského a §60 – školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nevýlučne ku svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu použiť (§35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude v elektronickej forme uložený v Ústrední knihovně VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavrieme licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorení diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave18.5.2015.....

.....Peter Jurdík.....

Meno a priezvisko autora práce:

Peter Jurdík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Rozkvet 2044/87

Považská Bystrica 01701

ANOTÁCIA DIPLOMOVEJ PRÁCE

JURDÍK, P. *Návrh výroby speciálního ozubení*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB-TUO, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 56s. Vedúci práce doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Predložená diplomová práce sa zoberá návrhom výroby špeciálneho ozubenia pastorkového hriadeľa. Cieľom práce je navrhnúť nové parametre stroje a nástroje pre výrobu špeciálneho ozubení tak, aby sa dosiahlo čo najnižšieho času výroby. Materiál pastorkového hriadeľa je ocel 18CrNiMo7-6. Prvá časť diplomovej práce sa zaoberá výrobou ozubení. V ďalšej časti je rozobraná výroba pastorkového hriadeľa a následne návrh novej výroby, nový technologický postup a technicko-ekonomické zhodnotenie s vyhodnotením novej výroby.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

JURDÍK, P. *Production Proposal of Special Gear*. Ostrava, 2015. Diploma thesis. VŠB-TUO, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly. Thesis head doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

This master thesis deals with special pinion shaft toothing design. Purpose of the thesis is to design new parameters of machine and tool for special toothing manufactory so that production time could be reduced as much as possible. The pinion shaft material is 18CrNiMo7-6 steel. First part of the thesis deals with toothing manufactory. In the second part, there is explained pinion shaft manufactory and later new way of production, new technological procedure and technical-economic evaluation with an evaluation of new production way.

OBSAH

1	Úvod	- 9 -
1.1	<i>Strojírny a stavby Třinec, a.s.</i>	<i>- 9 -</i>
1.2	<i>Vítkovice Gearworks, a.s.</i>	<i>- 10 -</i>
2	Výroba ozubení	- 12 -
2.1	<i>Obrábání čelných ozubených kolies.....</i>	<i>- 13 -</i>
2.1.1	<i>Frézování ozubení deliacím způsobem</i>	<i>- 13 -</i>
2.1.2	<i>Frézování ozubení odvalovací způsobem</i>	<i>- 15 -</i>
2.1.3	<i>Obrábání hřebenným nožem</i>	<i>- 16 -</i>
2.1.4	<i>Obrábání kotúčovým nožem</i>	<i>- 18 -</i>
2.1.5	<i>Přetahování a pretlačování</i>	<i>- 18 -</i>
2.1.6	<i>Dokončovací operace ozubení</i>	<i>- 19 -</i>
2.1.7	<i>Kontrola ozubení</i>	<i>- 21 -</i>
3	Rozdělení frézovacích nástrojů.....	- 23 -
4	Materiály frézovacích nástrojů.....	- 25 -
4.1	<i>Rychlořezné ocele</i>	<i>- 26 -</i>
4.2	<i>Spekané karbidy</i>	<i>- 26 -</i>
4.3	<i>Cermety</i>	<i>- 27 -</i>
4.4	<i>Keramika</i>	<i>- 28 -</i>
5	Vrtání.....	- 28 -
5.1	<i>Nástroje – vrtáky</i>	<i>- 31 -</i>
6	Tepelné zpracování	- 35 -
6.1	<i>Žíhání.....</i>	<i>- 35 -</i>
6.2	<i>Kalení.....</i>	<i>- 36 -</i>
7	Návrh výroby pastorkového hřídele.....	- 37 -
7.1	<i>Definice hřídele</i>	<i>- 37 -</i>
7.2	<i>Polotovár.....</i>	<i>- 38 -</i>
7.3	<i>Tvar zubu a parametry ozubení</i>	<i>- 40 -</i>

7.4	<i>Prehľad vlastností ocele 18CrNiMo7-6 podľa ČSN EN 10084.....</i>	- 41 -
7.5	<i>Súčasný technologický postup.....</i>	- 44 -
7.6	<i>Návrh novej technológie výroby.....</i>	- 45 -
7.7	<i>Sústruženie pastorkového hriadeľa.....</i>	- 46 -
7.8	<i>Frézovanie pastorkového hriadeľa.....</i>	- 48 -
8	Technicko-ekonomické zhodnotenie.....	- 50 -
9	Záver.....	- 52 -
10	Použité zdroje	- 54 -
11	Zoznam príloh	- 56 -

Zoznam použitých symbolov a značiek

Značka	Popis	Jednotka
α	uhol záberu profilu	$^{\circ}$
a_p	hlĺbka rezu	mm
β	uhol sklonu bočnej krivky zubu	$^{\circ}$
b	šírka zubu	mm
β_b	uhol sklonu bočnej krivky na základnom valci	$^{\circ}$
CNC	computer Numeric Control – číslicovo riadený	[-]
D	priemer obrábanej diery	mm
f	posuv nástroja na jednu otáčku	mm
f_z	posuv na zub	mm
HSS	High Speed Steel	[-]
k	zníženie hlavy	mm
L	dĺžka	mm
m	modul	[-]
MTCVD	stredná teplota naparovania z chemickej fázy	[-]
n	otáčky obrobku	min^{-1}
n_k	otáčky kotúčového noža	min^{-1}
n_0	otáčky obrábaného kolesa	min^{-1}
Ra	drsnosť	μm
SK	spekaný karbid	[-]
t_{zo}	zubová rozteč	mm
v_c	rezná rýchlosť	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
v_e	rýchlosť rezného pohybu	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
v_f	posuvová rýchlosť	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
VRD	vymeniteľné rezné doštičky	[-]
xm	korekcia	mm
z	počet chodov odvaľovacej frézy	[-]
z'	počet zubov cez ktoré sa meria	[-]
z_k	počet zubov nástroja	[-]
z_0	počet zubov obrábaného kolesa	[-]
W	rozmer cez zuby	mm

1 Úvod

Ozubenie patrí medzi veľmi dôležité strojné súčasti mechanického sveta. Samotné ozubené koleso je známe od staroveku. V súčasnej dobe sa ozubené prevody používajú prakticky vo všetkých výrobných odvetviach. Zaisťujú prenos krútiaceho momentu a rotačného pohybu. Taktiež umožňujú prevod rotačného pohybu na priamočiari a opačne. Rôzne typy ozubených mechanizmov tak môžeme nájsť v automobilovom alebo leteckom priemysle, v potravinárskej výrobe, vo výpočtovej technike a presných meracích prístrojoch.

Hlavným cieľom našej práce bolo navrhnuť novú technológiu výroby špeciálneho ozubenia pastorkového hriadeľa, stroje, nástroje a rezné parametre zvoliť tak, aby sme dosiahli čo najkvalitnejšie obrobenie pastorkového hriadeľa za čo najnižší čas. Nižší čas práce = vyšší zisk. Jedná sa o špeciálne ozubenie s modulom 100mm a počtom zubov 7. Výroba sa realizuje v Strojárnach a stavbách Třinec, a.s. ako zákazka pre Vítkovice Gearworks, a.s.

1.1 *Strojárny a stavby Třinec, a.s.*

Firma je 100% dcérskou akciovou spoločnosťou Třineckých Železáren, a.s. Spoločnosť vznikla 01.09.2013 zlúčením Strojáren Třinec, a.s a D 5, akciovej spoločnosti, a nadväzuje na dlhoročnú tradíciu výroby týchto dvoch akciových spoločností. Týmto krokom sa výrazne rozšírili výrobné-technologické možnosti a výrobné kapacity Strojáren a staveb Třinec, a.s. [1]

V oblasti strojnictva sa jedná o dlhoročnú tradíciu výroby pre tuzemských a zahraničných zákazníkov, ktorá zahŕňa predovšetkým zákazkovú strojársku výrobu, ako sú technologické celky a zvarence, vrátane opracovania na CNC strojoch, výroba oceľových konštrukcií, voľne kované výkovky a výroba hutných valcov pre valcovanie za tepla. Spoločnosť má tiež dlhoročné skúsenosti s prevádzaním opravárenských a údržbárskych činností na výrobných zariadeniach Třineckých železáren, a.s. po strojárskej, elektro, a stavebnej stránke. [1]

Základ spoločnosti tvoria výrobné prevádzky:

- Mechanické dielne
- Zámočnícke dielne

- Sústružňa valcov
- Elektrotechnické dielne
- Stavebné dielne
- Žiarotechnické dielne
- Útvar konštrukcie

Tab. 1.1 História firmy [1]

HISTORIE	
1885	Vznik mechanických dielní
1970	Výstavba sústružne valcov
1991	Vznik Devíze D3 – Strojárska výroba
1993	Vznik D5, akciovej spoločnosti, Třinec
1997	Vznik Třineckých železáren – strojírenské výroby, a.s. ako 100% dcérskej spoločnosti Třineckých železáren, a.s.
2005	Zmena názvu Třinecké železářny – strojírenská výroba, a.s. na Stojírny Třinec a.s.
2013	Vznik Strojíren a staveb Třinec, a.s.

1.2 Vítkovice Gearworks, a.s.

Spoločnosť je zameraná na výrobu a poskytovanie služieb prevažne v oblastiach: prevodovky, ozubené kolesá, zubové spojky, strojnícke diely, náhradné diely, tepelné spracovanie a servisnú činnosť. Ďalej spoločnosť zaisťuje kompletnú inžiniersku činnosť pre ťažobný priemysel a energetiku v týchto oblastiach:

- Povrchová ťažba – dodávky skladových strojov, rýpadiel, zakladačov, lodných vykladačov
- Energetika – dodávky ventilátorových mlynov pre spracovanie uhlia

Výroba ozubených kolies sa stala významnou časťou strojárskkej produkcie firmy. Ozubárna sa podlieha svojimi subdodávkami na realizáciu takmer všetkých významných investičných celkov, budovaných materskou firmou vo veľa krajinách sveta. K významnej zmene v živote Ozubárny došlo 1.2.2002, kedy vznikla dcérska spoločnosť akciovej spoločnosti Vítkovice spoločnosť Vítkovice Ozubárna,a.s. Od 27.7.2005 je spoločnosť premenovaná na Vítkovice Gearworks,a.s. [2]

2 Výroba ozubení

Výroba ozubení je velmi složitý a technologický proces. Prevody ozubeného kola sa využívajú v prevodových mechanizmoch v rôznych variantoch. Zložitost' obrábania ozubení súvisí s tým, že je nutné splniť teoretické poznatky plynúce z teoretického odvalu a teoretického obtlačku nástrojových plôch pre dosiahnutie správneho záberu ozubení. Pozdĺžnu a výškovú úpravu plochy boku zubu, teda modifikáciu, sa dosiahne lokalizácia záberu spolu zaberajúcich bokov zubov. Tento zásah vyrovnávajúcej nepresnosti ozubení však kladie zvýšené nároky na výrobu. Modifikované ozubenie má vyššiu životnosť a menšiu hlučnosť. Výrobu ozubení môžeme podľa druhu ozubeného kola rozdeliť na obrábanie čelných kolies s priamymi, šikmými, a zakrivenými zubmi. V uvedenom poradí rastie technologická náročnosť obrábania jednotlivých druhov ozubení. Kvalitu obrábania týchto kolies ovplyvňuje hlavne stroj, nástroj, upnutie obrobku, rezná kvapalina a rezné podmienky. [3]

Obecný technologický postup ozubeného kola

Technologický postup ozubeného kola je primárne závislý na materiáli ozubeného kola a zvoleného polotovaru. Väčšia časť pevnostne namáhaných ozubených kolies sa vyrába z konštrukčných či ušľachtených ocelí. Náorne to ukazuje sled operácií v obecnom technologickom postupe čelného ozubeného kola so šikmými zubmi.

1. Voľba zhotovenia polotovaru (odliatok, výkovok)
2. Úprava polotovaru (pieskovanie, normalizačné žihanie u odliatkov)
3. Zhotovenie technologickej základne (centrálny otvor)
4. Hrubovacie operácie (obvykle sústruženie, vŕtanie atd.)
5. Tepelné spracovanie
6. Poločisté obrábanie (základné plochy, rotačné tvary otvory)
7. Obrábanie tvarových plôch (vlastné ozubenie predovšetkým frézovaním alebo obrázaním, prípadne drážky pre pero alebo drážkovanie)
8. Chcemicko – tepelné spracovanie (v prípade cementácie ocele cementácia, prípadne karbonitridácia alebo nitridácia)
9. Odstránenie cementačných prídavkov
10. Tepelné spracovanie (kalenie a popúšťanie)
11. Úprava technologickej základne (napr. prebrúsenie strediacich dier pre ďalšie brúsenie)

12. Čisté obrábanie (brúsenie presných ozubení alebo valcových ploch)
13. Úprava povrchu (pokovanie)
14. Zvláštne operácie (vyvažovanie, nastavenie uloženia párových kolies)
15. Dokončovacie operácie veľmi presných funkčných plôch (lapovanie, valčekovanie)
16. Záverečná kontrola (Kontrola rozmeru cez zuby, tvaru evolventy, hádzanie)
17. Konzervácia [4]

2.1 Obrábanie čelných ozubených kolies

Ozubenie čelných kolies sa obrába:

- Frézovaním deliacim spôsobom tvarovou frézou a odvaľovacou frézou,
- Obrázaním odvaľovacím spôsobom kotúčovým alebo hrebeňovým nožom,
- Pretahovaním a pretlačovaním

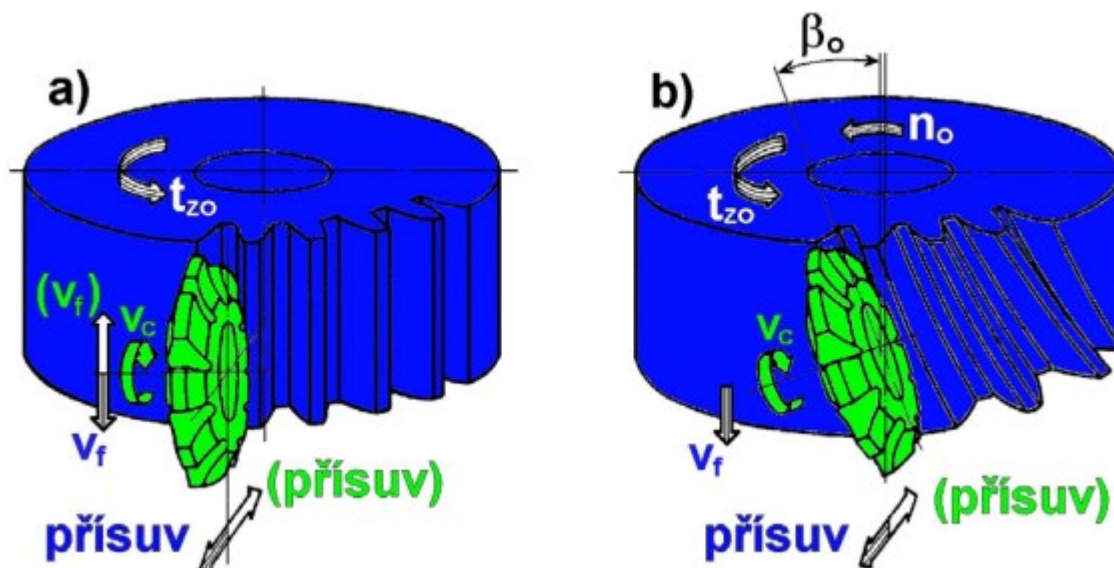
Dokončovacie spôsoby obrábania sú:

- Ševingovanie (u kolies bez tepelného spracovania)
- Brúsenie deliacim spôsobom alebo odvaľovacím spôsobom (u kalených kolies),
- Lapovaním
- Zabehávaním
- Valcovaním

Výber technológie závisí na počte obrábaných kolies, veľkostí a typov kolies (samostatne alebo súkolesie), umiestnenie zubov (vnútorné alebo vonkajšie ozubenie) a tvaru zubov (priame, šikmé, šípové). [5]

2.1.1 Frézovanie ozubenia deliacim spôsobom

Pri frézovaní deliacim spôsobom (obr. 2.1) sa obrobí jedna zubová medzera, potom sa obrobok upnutý v deliacom prístroji pootočí o jednu zubovú rozteč (t_{zo}) a frézuje sa ďalšia zubová medzera. Profil frézy musí byť zhodný s profilom požadovanej zubovej medzery.

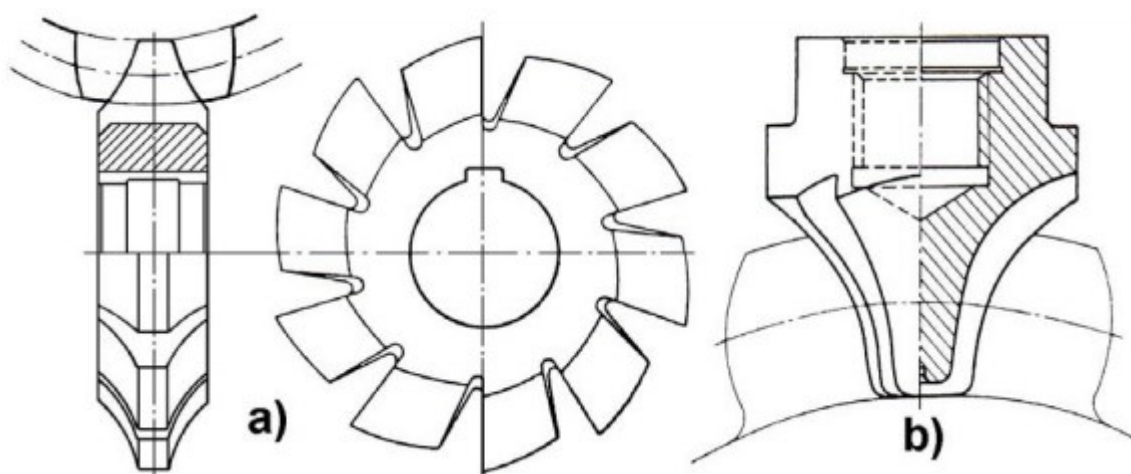


Obr. 2.1 Frézovanie čelného ozubení deliacim spôsobom kotúčovou frézou a) priame zuby, b) šikmé zuby [6]

Čelné ozubené kolesá s priamimi zubmi sa frézujú kotúčovou alebo čapovou modulovou frézou, profil frézy odpovedá profilu zubovej medzery. V praxi sa používa jeden nástroj s daným modulom pre určitý rozsah zubov a všetky modulové frézy sú dodané v sadách, ktoré obsahujú 8, 15 alebo 26 členov pre daný modul.

Tab. 2.1 Rozloženie počtu zubov pre osemčlennú sadu kotúčových fréz [5]

Č. frézy	1	2	3	4	5	6	7	8
Počet zubov	12÷13	14÷16	17÷20	21÷25	26÷34	35÷54	55÷134	135+



Obr. 2.2 Modulové frézy a) kotúčová, b) čapová (stopková) [6]

2.1.2 Frézovanie ozubenia odvaľovacím spôsobom

Frézovanie odvaľovacím spôsobom je najčastejší spôsob výroby ozubenia. Pri tejto metóde sa používajú odvaľovacie frézy, čo sú valcové tvarové frézy, predstavujúce šnek, spoluzaberajúci s obrábaným ozubeným kolesom. Špirála šneku je po obvode prerušená vyfrézovanými drážkami, ktoré vytvárajú čelné plochy ostria zubov.

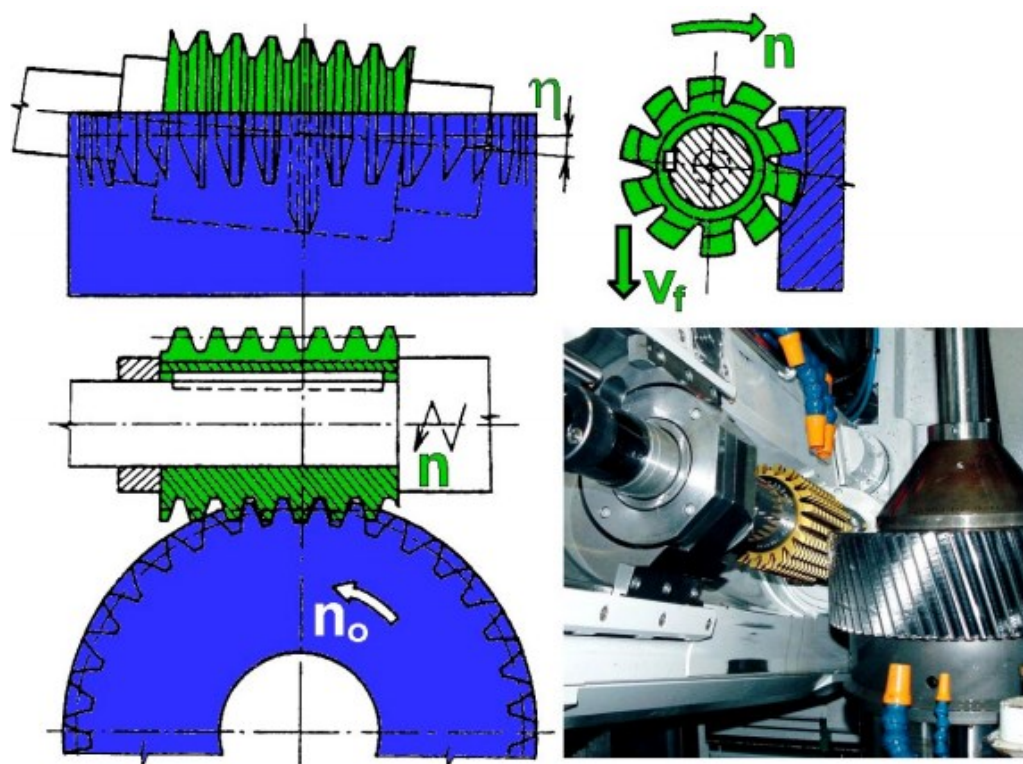
Rezný pohyb je odvodený od rotácie frézy n . Súčasne s rotáciou frézy rotuje aj obrobok otáčkami n_0 tak, že za jednu otáčku frézy sa pootočí obrobok o jednu zubovú rozteč, čím sa plynulo frézujú všetky zuby. Aby bolo vytvorené ozubenie po celej šírke frézovaného kola, musí sa fréza súčasne pohybovať v smere obrábaných zubov a to rýchlosťou v_f . [5]

Kinematika rezného pohybu je z podmienky:

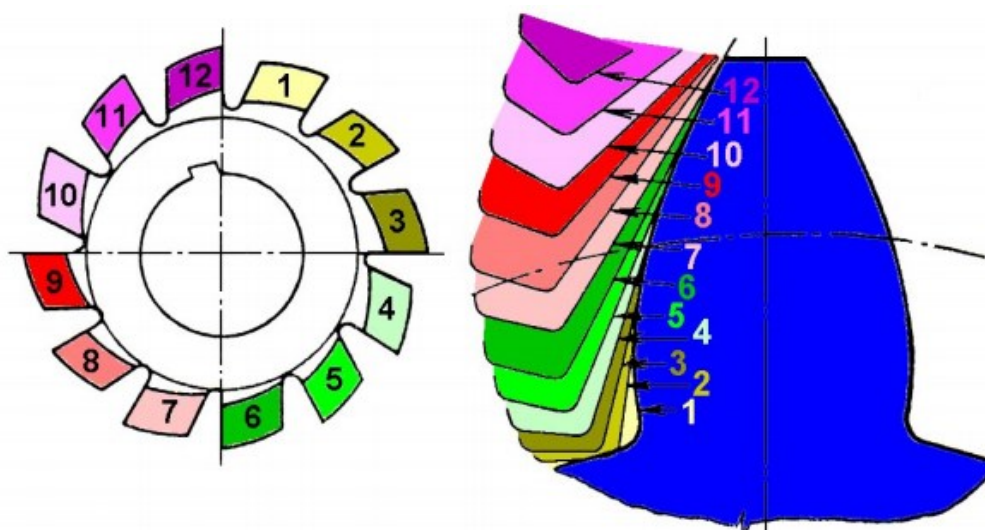
$$\frac{n_0}{n} = \frac{z}{z_0} [-] \quad (2.1)$$

Kde:

- n_0 [min^{-1}] – otáčky obrábaného kola
- n [min^{-1}] – otáčky odvaľovacej frézy
- z_0 [-] – počet zubov obrábaného kola
- z [-] – počet chodov odvaľovacej frézy



Obr. 2.3 Kinematika pohybov pri odvaľovacom frézovaní čelného ozubenia [6]



Obr. 2.4 Princíp vytvorenia evolventy pri odvaľovacom frézovaní [6]

2.1.3 Obrážanie hrebeňovým nožom

Obrážanie je založené na princípe záberu ozubeného hrebeňa (nástroj) s ozubeným kolesom (obrobok). Nástroj je nastavený na hĺbku rezu a_p a vykonáva priamočiari vratný pohyb. Odvaľovanie je dosiahnuté zložením otáčavého pohybu n_0 a posuvného pohybu v_f obrobku pri dĺžke zdvihu l , pri výrobe šikmého ozubenia obrážacím hrebeňovým nástrojom so šikmými zubmi najviac ešte dodatočným posuvom nástroja v_n, v_z .

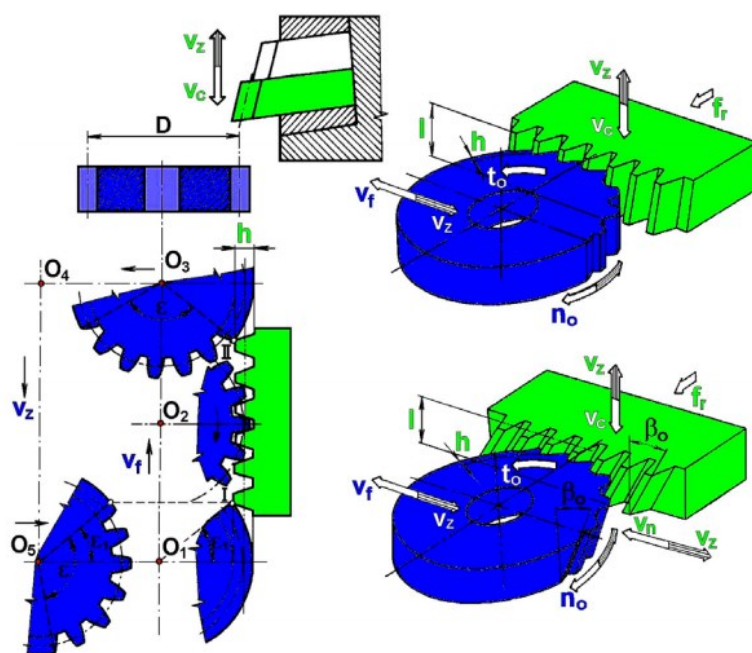
Obrobok a nástroj sa vzájomne otáčajú proti sebe v otáčkovom pomere:

$$\frac{n_k}{n_0} = \frac{z_0}{z_k} \quad (2.2)$$

Kde:

- n_k sú otáčky kotúčového noža
- n_0 sú otáčky obrobku
- z_k je počet zubov nástroja
- z_0 je počet zubov obrázaného kolesa

Pri výrobe ozubených kolies veľkých modulov sú hrebeňové nože málo produktívne, ale pri výrobe ozubených kolies veľkých modulov pri použití hrubovacích nožov dosahujú pri nízkych nákladoch na nástroje produktivitu veľmi vysokú. [5]

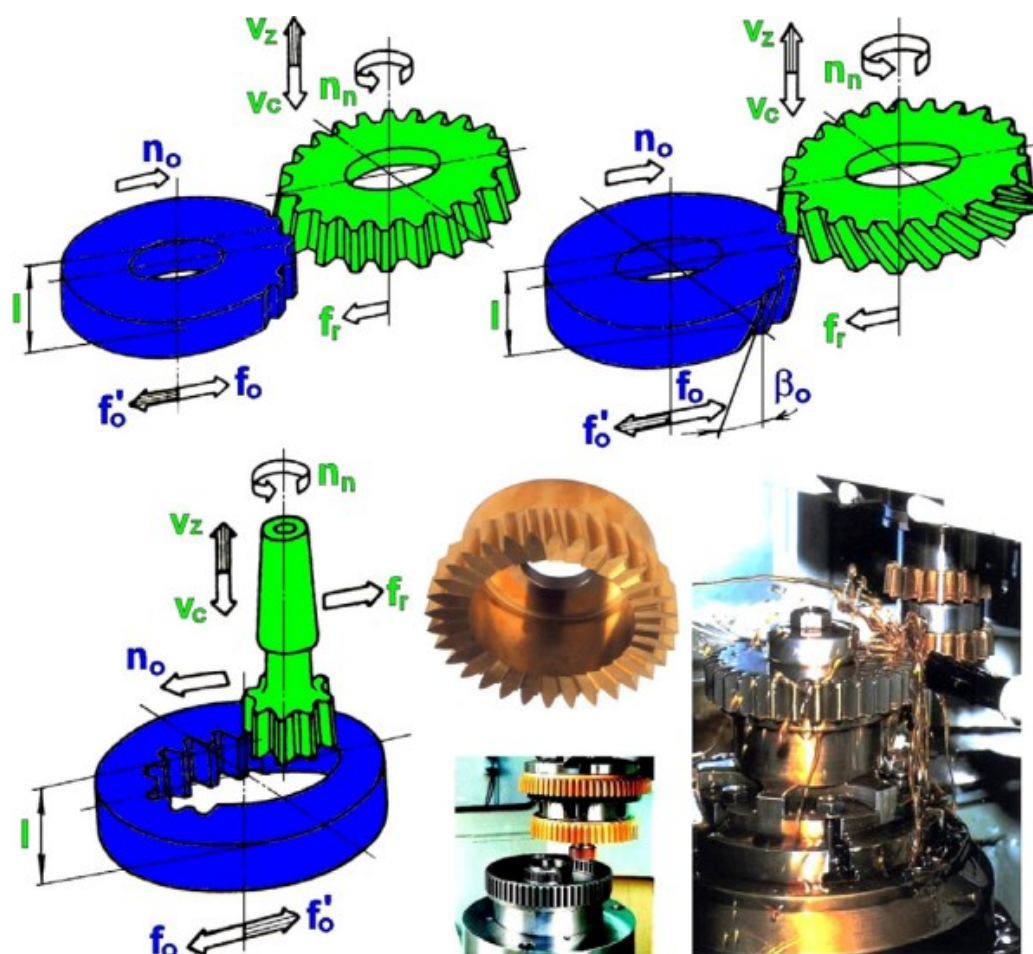


Obr. 2.5 Kinematika pohybov pri obrábaní čelného ozubenía – metóda Maag [6]

Hrebeňový obrábací nôž je výrobne jednoduchší so zubmi lichobežníkového tvaru základného profilu. Obrábanie hrebeňovým nožom je charakterizované hlavne relatívne lacným nástrojom, pomerne vysokými nákladmi na obrábací stroj a dlhými výrobnými časmi. Popísaný spôsob obrábania je v prevádzkových podmienkach označovaný ako systém Maag.

2.1.4 Obrážanie kotúčovým nožom

Obrážanie kotúčovým nožom je založené na princípe záberu dvoch ozubených kolies bez vôle. Obrážajú sa čelné kolesá s priamymi a šikmými zubmi a kolesá so šípovým ozubením. Odvaľujú sa spôsobom, akoby spolu zaberali dve čelné ozubené kolesá. Nástroj, ktorý je upnutý v šmýkadle vykonáva priamočiari vratný pohyb v smere osy a rotuje otáčkami n_n , obrábané koleso rotuje otáčkami n_o . Uvedenou kombináciou pohybov je obrobený výsledný evolventný profil zubu. Pri spätnom pohybe sa nástroj oddiaľuje od obrobku, aby ostrie zubov netrelo o obrobenú plochu. [6]



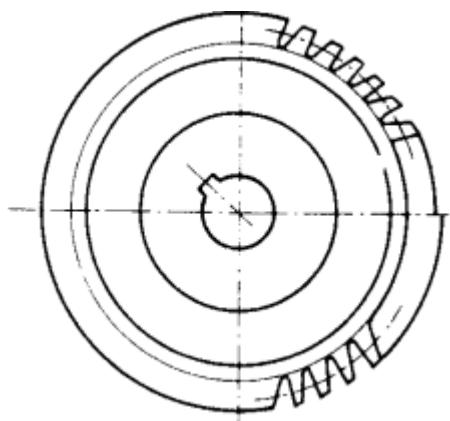
Obr. 2.6 Kinematika pohybov pri obrážaní čelného ozubení metódou Fellows [6]

2.1.5 Pret'ahovanie a pretlačovanie

Využíva sa pre výrobu ozubených kolies vnútorných aj vonkajších v hromadnej a veľkosériovej výrobe. Nástroj je pret'ahovací trň ktorý sa vyrába z rýchloreznej ocele ako monolitný alebo má telo z konštrukčnej ocele a na ňom segmenty z rýchloreznej ocele alebo spekaných karbidov.

Vonkajšie ozubenie sa vyrába deliacim spôsobom, kedy po preťažení jednej zubovej medzery sa deliaci prístroj s upnutým obrobkom pootočí o jednu zubovú rozteč a celý cyklus sa opakuje. Vnútorne ozubenie sa preťahuje naraz valcovým nástrojom, ktorý má ostrie rozmiestnené po obvode a vo tvare zubových medzier obrábaného kolesa. U oboch prípadoch má nástroj časť kalibrovanú, ktorá zaisťuje presný tvar zubovej medzery vyrábaného ozubenía.

Pre každý priemer, modul, alebo tvar zubu je potrebné zvlášť nástroj, ktorý je veľmi nákladný. Preto sa preťahovanie využíva iba pre hromadnú a veľkosériovú výrobu, čo platí pre vonkajšie, ale obzvlášť pre vnútorné ozubenie. Výroba ozubenía a jeho presnosť je priamo závislá na presnosti výroby preťahovacieho nástroja. [5]



Obr. 2.7 Kruhový preťahovací trň [6]

2.1.6 Dokončovacie operácie ozubenía

Ševingovanie

Je dokončovacia metóda výroby čelných ozubených kolies s priamymi alebo šikmými zubmi. Využíva sa predovšetkým pre nekalené ozubené kolesá, poprípade zaraďujeme operáciu kalenia až po operácii ševingovania. Pri vlastnej operácii dochádza k odoberaniu veľmi malých triesok (kedy veľkosť prídavku na ševingovanie volíme v rade jednotiek stotín milimetra) z povrchu zuba. Dosahujeme tým zlepšenie kvality povrchu zlepšenie veľkosti odchýlok zubových roztečí a zlepšenie profilu zuba.

Princíp metódy spočíva v odoberaní triesky šmykom jedného ozubeného kolesa o druhé s vytvorenými pozdĺžnymi drážkami na bokoch zubu. Aby k tomu dochádzalo, je potrebné zaistiť nenulový uhol medzi oboma spoluzaberajúcimi kolesami. Hnacím

kolesom potom býva nástroj, teda ševingovacie koleso, a hnaným obrábané ozubené koleso. Pre zvýšenie efektu potom používame u hnacieho kolesa brzdný efekt. [4]

Brúsenie

Brúsenie je najrozšírenejší spôsob dokončovania ozubenia ozubených kolies. Brúsením sa odstraňujú nepresnosti po predchádzajúcom obrábaní a deformácie po tepelnom spracovaní ozubených kolies. Existuje veľa metód brúsenia ozubených kolies v závislosti na type ozubeného kolesa a použitia technológie. V zásade sa dá na ich rozdelenie použiť rovnaký princíp ako v prípade frézovania alebo obrážania, teda na metódy tvarové alebo odvalovacie. Ozubené kolesá sa brúšia: [6]

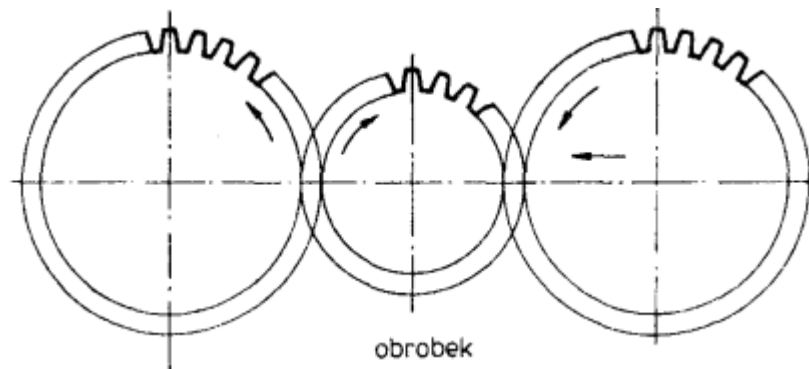
- deliacim spôsobom tvarovými kotúčmi
- deliacim spôsobom s odvalom zubu
- odvalovacím spôsobom

Lapovanie

Ozubené koleso je v zábere s kolesom lapovacím. Hnacím kolesom je tu koleso lapovacie. Do zubovej medzery je zaistené prívod lapovacej pasty, ktorá zaistí potrebný odber materiálu. V prípade problematickej aplikácie brúsenia ozubených kolies sa často aplikuje tzv. zabehávanie. Príkladom môžu byť niektoré typy kužeľových ozubených kolies. Používajú sa vždy spárované kolesá, ktoré budú neskôr spolu montované. [4]

Valcovanie

Valcovanie ozubenia na čisto za studena je možné používať namiesto ševingovania alebo brúsenia. Dokončovanie ozubenia sa dosahuje plastickou deformáciou kovu v povrchových vrstvách na bokoch zubov. Pre túto metódu sa konštruujú stroje s tromi, dvoma a jedným valcom. Najviac sa používajú stroje s dvoma valcami. Jeden z valcov je posuvný na trň, ktorá má u niektorých strojov samostatný pohon pre záber dokončovacích zubov s otáčajúcimi sa valcami. Posuv je uskutočňovaný valcom s pohyblivým vretenom.[5]

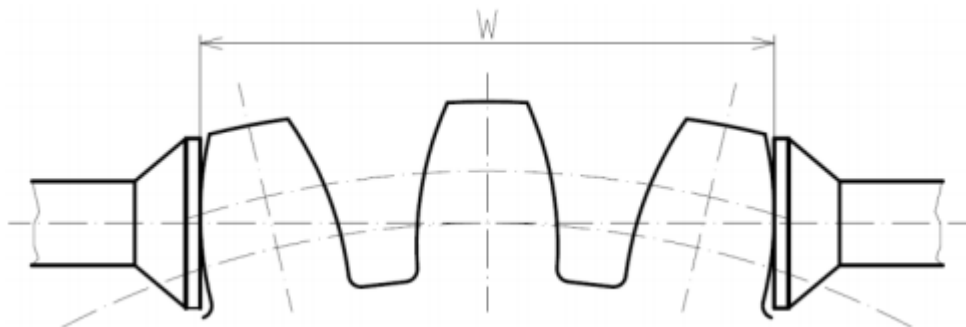


Obr. 2.8 Schéma dokončovania ozubení valcovaním. [5]

2.1.7 Kontrola ozubení

Kontrola rozmerov cez zuby koleśa

Kontrola rozmeru cez zuby je najčastejšou metódou merania. Výhodou tejto metódy je jednoduché meradlo ako je tanierový mikrometer, passameter, alebo mikropasameter, ktoré sa dá merať priamo na stroji vo výrobe a meranie vychádza od obrobených bokov zubov, preto nie je závislé na presnosti hlavovej kružnice. [7]



Obr. 2.9 Kontrola rozmeru cez zuby [7]

Počet zubov, cez ktoré sa meria presnosť [8]

pre priame zuby

$$z' = \frac{z \cdot \alpha}{180} + 0,5 \quad (2.3)$$

pre šikmé zuby

$$z' = \frac{z \cdot \alpha}{180 \cdot \cos \beta \cdot \cos^2 \beta_b} \quad (2.4)$$

kde:

- z [-] - počet zubov meraného kolesa
- z' [-] - počet zubov cez ktoré sa meria
- α [°] - uhol záberu profilu
- β [°] - uhol sklonu bočnej krivky zubu
- β_b [°] - uhol sklonu bočnej krivky na základnom valci

Menovitý rozmer cez zuby [7]

$$W = m \cdot \cos \alpha \cdot [\pi \cdot (z' - 0,5) + z \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ar} \alpha)] \quad (2.5)$$

kde:

- W [mm] - rozmer cez zuby
- m [-] - modul
- α [°] - uhol záberu profilu
- z [-] - počet zubov meraného kolesa
- z' [-] - počet zubov cez ktoré sa meria

Stroje na kontrolu ozubení

Príkladom univerzálneho meracieho stroja môže byť meracie centrum wgt 600 od spoločnosti Wenzel. Na stroj sa dajú merať všetky typy čelných ozubených kolies, s prídavným softwarom kolesá kužeľové, šnekové a rezné nástroje (odvalňovacie frézy a pod.) Kontrolované kolesá môžu byť v priemere 5 – 600 mm s modulom 0,5 – 20 mm [9]



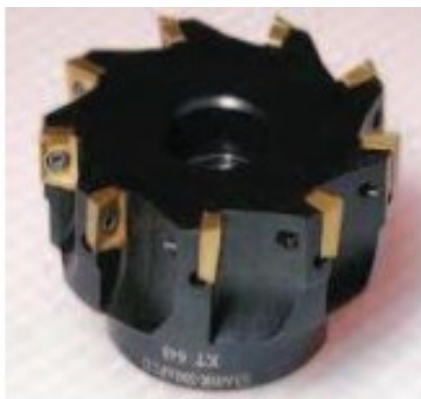
Obr. 2.10 WGT 600 a príklad kontroly [9]

3 Rozdelenie frézovacích nástrojov

Fréza je nástroj rotačného tvaru so zubmi uloženými na povrchu obvodu telesa. Základný upínacia časť má tvar kužeľa alebo valca. Fréza sa pri práci otáča a jej zuby postupne zaberajú do materiálu a oddeľujú triesky. Frézy sa vyrábajú vo veľkom množstve druhou a veľkosťou. Vzájomne sa môžu líšiť tvarom, veľkosťou, počtom zubov, spôsobom ich výroby, konštrukciou a spôsobom upnutia.

Rozdelenie z hľadiska umiestnenia zubov

- Valcové – zuby sú umiestnené na valcovej ploche. Sú určené k frézovaniu plôch rovnobežných s osou frézy
- Čelné – zuby sú umiestnené na čelnej ploche. Používajú sa k frézovaniu rovinných plôch.
- Valcové čelné – zuby sú umiestnené na čelnej a aj valcovej ploche. [6]



Obr. 3.1 Čelná valcová fréza [10]

Rozdelenie z hľadiska prevedenia zubov [11]

- Frézované zuby – čelo aj chrbát tvoria rovinné plochy, na chrbte spevňuje ostrie úzka fazetka o šírke 0,5 až 2 mm a ostrenie sa prevádza na chrbte
- Podsústružené zuby – chrbtová plocha je tvorená časťou Archmedovej špirály, čelo zuba je tvorené rovinnou plochou a ostrenie je prevedené na čele. Tieto zuby sú vhodné pre tvarové frézy, pretože pri stení na čele sa ich profil mení iba máličko.
- Liate zuby – chrbtovú plochu tvorí valec

Rozdelenie z hľadiska konštrukčného usporiadania [11]

- Celistvé frézy – teleso aj zuby sú vyrobené z rovnakého materiálu
- S vloženými nožmi – v súčasnej dobe sa takmer nepoužíva
- S vymeniteľnými reznými doštičkami – doštičky sa mechanicky pripevňujú k telesu frézy



Obr. 3.2 Nastaviteľná stopková fréza pre zrazenie hrán s vymeniteľnou reznou doštičkou [10]

Rozdelenie z hľadiska počtu zubov [11]

- Jemnozubé – veľký počet zubov vzhľadom k priemeru frézy
- Polohrubozubé – kompromis medzi jemnozubými a hrubozubými
- Hrubozubé – malý počet zubov. Pre hladký chod frézy by malo byť v zábere aspoň dva zuby.

Rozdelenie z hľadiska smeru zubov [11]

- Priame zuby
- Šikmé zuby
- Zuby v skrutkovici – zuby vnikajú do záberu postupne, rezný proces je kludnejší a plynulejší



Obr. 3.3 Čelná valcová hrubovacia fréza s ostrím v skrutkovici [10]

Rozdelenie podľa geometrického tvaru funkčnej časti [11]

- Valcové (obr. 3.1 a obr. 3.3)
- Kotúčové
- Uhlové (obr. 3.2)
- Drážkovacie
- Kopírovacie
- Rádiusové
- Pre výrobu ozubení
- Pre výrobu závitů

Rozdelenie podľa zmyslu otáčania [11]

- Pravorezné
- Ľavorezné

Rozdelenie podľa upnutia [11]

- Nástrčné
- S upínacou stopkou – valcovou alebo kužeľovou



Obr. 3.4 Stopková fréza na T – držiaky [10]

4 Materiály frézovacích nástrojov

Nástroje delíme podľa materiálu zubov na frézy z rýchloreznej ocele, spekaných karbidov, cermetou, reznej keramiky, polykryštalického kubického nitridu bóru a polykryštalického diamantu. Na tieto rezné materiály sa môže nanášať ochranný povlak, ktorý zaistí dlhšiu životnosť a tvrdosť povrchu nástroja. [12]

4.1 Rychlorezné ocele

HSS (High Speed Steel) – Špeciálny druh ocele, ktorý sa používa pre výrobu namáhaných obrábacích nástrojov pre rýchle obrábanie súčastí hlavne v prírodnom stave. Oceľ vyniká vysokou tvrdosťou a žiarupevnosťou. Rychlorezná oceľ má približne dvakrát väčšiu húževnatosť ako spekané karbidy a šesťkrát väčšiu ako keramika.[12]

4.2 Spekané karbidy

Spekaný karbid sa vyrába z kovového pojiva a rôznych karbidov pomocou práškovej metalurgie. Najdôležitejšie karbidy sú karbidy wolframu (WC), titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a karbid niobu (NbC). Ako pojivo je používaný kobalt (Co). Veľkosť častíc je v rozmedzí 1 až 10 µm a tvorí až 95 % objemu rezného materiálu. Vlastná výroba spočíva v prípade prášku. Podľa toho, aké má mať vlastnosti vyrobený spekaný karbid sa všetky prášky zomelú a zmiešajú, aby bola zaistená homogénita. Ďalšou etapou je lisovanie karbidového prášku do teliesok na lisoch. Pri lisovaní získa polotovár výsledný tvar a rozmery, navyše sa zmrští až o 20 %. Pre dosiahnutie presnosti rozmerov a geometrie sa spekané karbidy brúsia prípadne kartáčujú. [12]

V súčasnosti sú spekané karbidy najpoužívannejšie rezné materiály pre obrábanie kovu. Podľa klasifikácie ISO môžeme vybrať vhodný spekaný karbid pre určitý prípad použitia.

Modrá P – vhodné pre materiály tvoriace dlhú triesku ako je hlavne oceľ a oceloliatina

Žltá M – vhodné pre obrábanie austenitických, feritických a martenzitických ocelí, žiaruvzdorných materiálov, manganových ocelí, legovaných druhov liatin.

Červená K – vhodné pre obrábanie materiálu tvoriacich krátku triesku, hlavne liatin

Zelená N – použitie pre neželezné kovy, zliatiny hliníku, plasty, drevo

Hnedá S – pre obrábanie tepelne odolných zliatiny a zliatin titanu

Šedá H – použitie pre obrábanie zušľachtených materiálov napr. kalené ocele [12]

Skupina	Podskupiny	Základní chemické složení
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30÷82)% +TiC (8÷64)% +Co (5÷17)% + (TaC.NbC)
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79÷84)% +TiC (5÷10)% +TaC.NbC (4÷7)% +Co (6÷15)%
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% +Co (4÷12)% + (TaC.NbC)
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30	
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30	
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30	

Obr. 4.1 Rozdelenie materiálov do skupín

V každej skupine sú uvedené čísla, ktoré špecifikujú rôzne požiadavky na obrábanie (od hrubovania až po dokončovacie operácie). Označujú sa od 01 pre dokončovacie operácie za vysokých rezných rýchlostí a malým odberom materiálu cez hlavnú oblasť použitia 25 pre stredné obrábanie až po skupinu 50 pre hrubovanie pri nízkych rezných rýchlostiach. Ďalej sú požiadavky na odolnosť proti opotrebeniu a húževnatosť podľa spôsobu obrábania.

4.3 Cermety

Cermet je spoločný názov pre všetky tvrdé kovokeramické materiály, u ktorých sú tvrdé zložky tvorené karbidom titanu, karbonitridom titanu alebo nitridom titanu. Názov cermet znamená CERamic-Metal (keramické častice s kovoým pojivom. V praxi sa dajú cermety považovať za spekané karbidy, zhotovené na bázi titanu namiesto karbidu wolframu. Doštičky z cermetov hrajú dôležitú úlohu pri frézovaní ako u dokončovacích operácií, tak aj u bežných prípadov nasadenia a rovnako pre široké spektrum materiálov obrobkov. Sú vhodné hlavne pre vysoké rezné rýchlosti, malé posuvy a relatívne veľké ale rovnakosmerné hĺbky rezu.

4.4 *Keramika*

Je obecné považovaná ako prevažne kryštalický materiál, ktorého hlavnou zložkou sú anorganické zlúčeniny nekovového charakteru. Táto definícia zahŕňa nielen tradičnú keramiku (porcelán, tehly, cement), ale aj brúsiace materiály a radu nových (špeciálnych konštrukčných, strojárskych, priemyslových alebo inak nazývaných keramických látok ako sú oxidická keramika, ferity, feroelektrika, nitridy, karbidy a ďalšie. Pre súčasnú keramiku je charakteristické, že je vyrábaná z pomerne čistých surovín a často z čistých predvolených chemikálií ako keramika. Sú to látky označované ako keramika kryštalická, na rozdiel od tradičnej keramiky, ktorá obsahuje aj veľký podiel amorfnej fázy. [13]

5 Vŕtanie

Vŕtanie je výrobná metóda, ktorou sa zhotovujú diery, alebo zväčšujú už predpracované diery. Hlavný pohyb je rotačný a vykonáva ho obvykle nástroj (vrták), menej často obrobok. Osa vrtáku je spravidla kolmá k obrábanej ploche, na ktorej vrták vstupuje do obrábaného materiálu. Posuvný pohyb, v smere svojej osy, vykonáva vrták.

Pri vŕtaní záleží na tom, či ide o diery priechodné alebo nepriechodné. Priechodné diery sa z technologického hľadiska obrábajú pomerne ľahko. U nepriechodných dier sa musí brať ohľad na ich zakončenie, na zabezpečenie presnej hĺbky vŕtania, na nutnosť odrezávania ostatku triesky na dne diery atď. Triesky sa zo dna diery odrezávajú tak, že vrták po zastavení posuvu urobí ešte niekoľko otáčok.

Charakteristickou vlastnosťou všetkých nástrojov na diery je, že rezná rýchlosť sa pozdĺž hlavného ostria v smere obvodu ku stredu nástroja znižuje. Za reznú rýchlosť sa preto považuje obvodová rýchlosť na menovitom priemere nástroja. Hodnoty reznej rýchlosti v_c , posuvnej rýchlosti v_f a rýchlosti rezného pohybu v_e sa vyjadria na základe vzťahov: [5]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.1)$$

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.3)$$

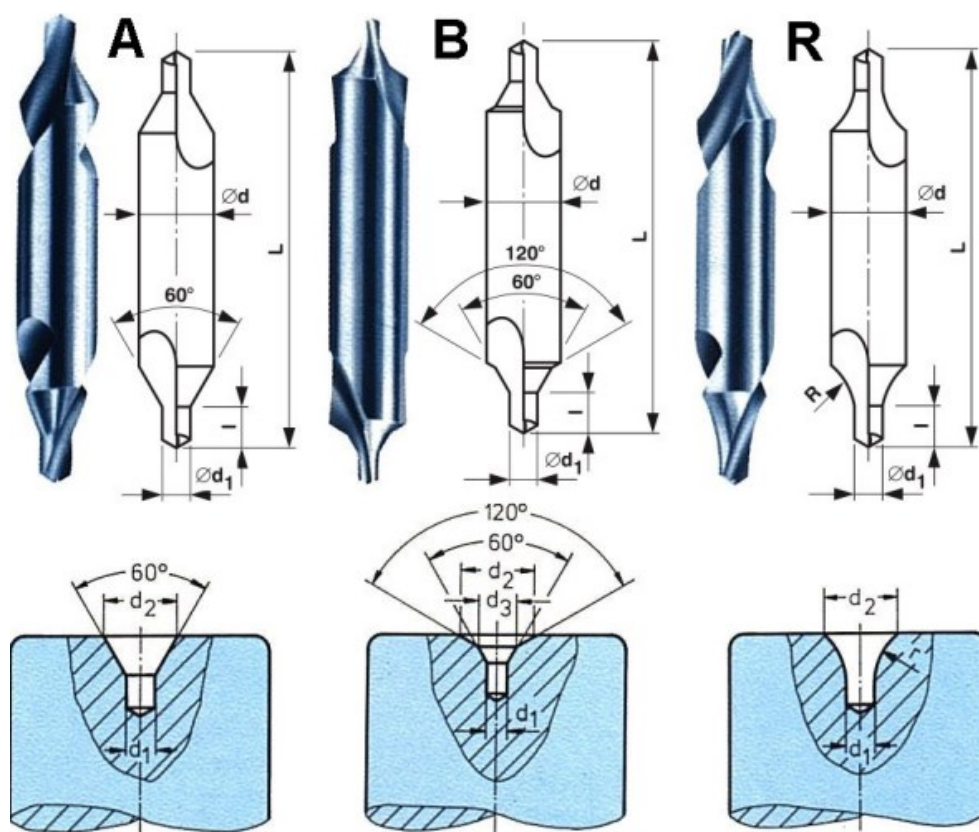
- v_c – rezná rýchlosť [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
- v_f – posuvná rýchlosť [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]
- v_e – rýchlosť výsledného rezného pohybu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
- D – priemer obrábanej diery [mm]
- n – otáčky vrtáku [min^{-1}]
- f – posuv nástroja na jednu otáčku [mm]

Pretože vrtáky hlavne výhrubníky, výstružníky a záhlbníky sú vždy viacbrité nástroje, môžeme vo všetkých prípadoch definovať aj hodnotu posuvu na zub f_z

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (5.4)$$

- z – počet zubov nástroja [-]

Navíťovanie začiatku diery stredovým vrtákom do plného materiálu



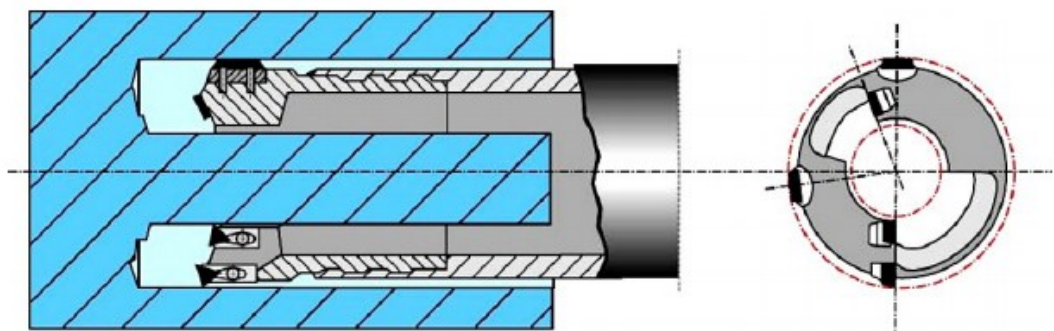
Obr. 5.1 vystred'ovacie vrtáky [6]

Vŕtanie krátkych dier, kde pomer $D/L = 1/5 \div 1/10$ (D – priemer diery, L – dĺžka diery) do plného materiálu. K týmto operáciám sa využívajú vrtáky skrutkovité, kopijovité, s vymeniteľnými špičkami, a s vymeniteľnými reznými dosťčkami.

K vŕtaniu dier do predpracovaných otvorov sa používajú rovnaké nástroje ako pri vŕtaní krátkych dier do plného materiálu. Výnimočne sa využívajú hlavňové vrtáky.

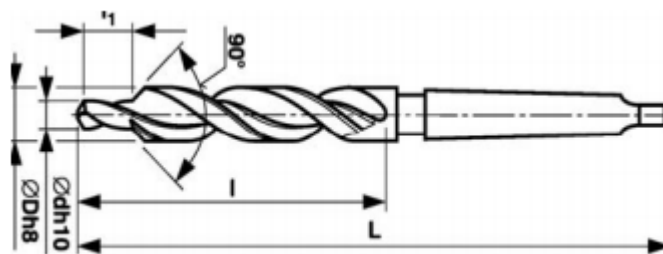
K vŕtaniu hlbokých dier, kde je pomer $L/D > 1/10$, sa do plného alebo predpracovaného materiálu používajú vrtáky hlavňové ejektorové, BTA, STS. Pri vŕtaní dier malých priemerov sa môžu použiť vrtáky skrutkovité.

Vŕtanie na jadro – jedná sa o odrezávanie obrábaného materiálu v tvare medzikružia jednobritým vrtákom alebo viacbritým korunovým vrtákom. Používa sa pre vŕtanie priechodných dier prevažne väčších priemerov. [5]

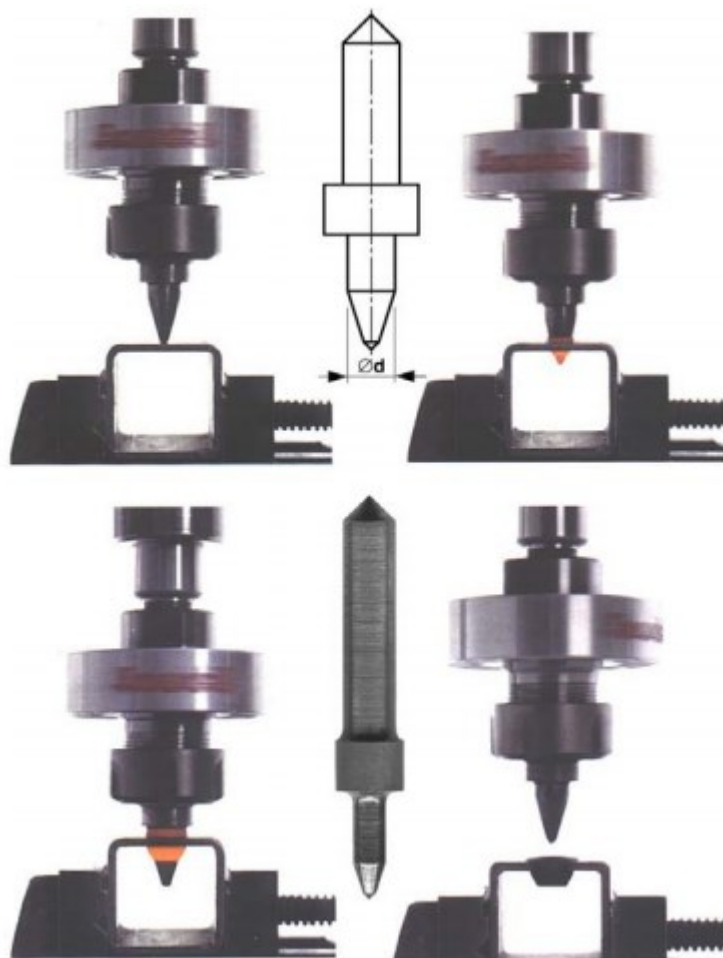


Obr. 5.2 Korunkový vrták [6]

Špeciálne druhy vŕtania napr. vŕtanie dier do plechu termálnym tvarovacím vrtákom, vŕtanie odstupňovaných dier odstupňovaným vrtákom, vŕtanie dier so súčasným vystružovaním, závitovaním, zahlbovaním alebo hladením združenými nástrojmi.



Obr. 5.3 Odstupňovaný vrták [6]



Obr. 5.4 Termálne vŕtanie diery v tenkostennom oceľovom profile [6]



Obr. 5.5 Združený nástroj pre vŕtanie a dvojité zahlbovanie [6]

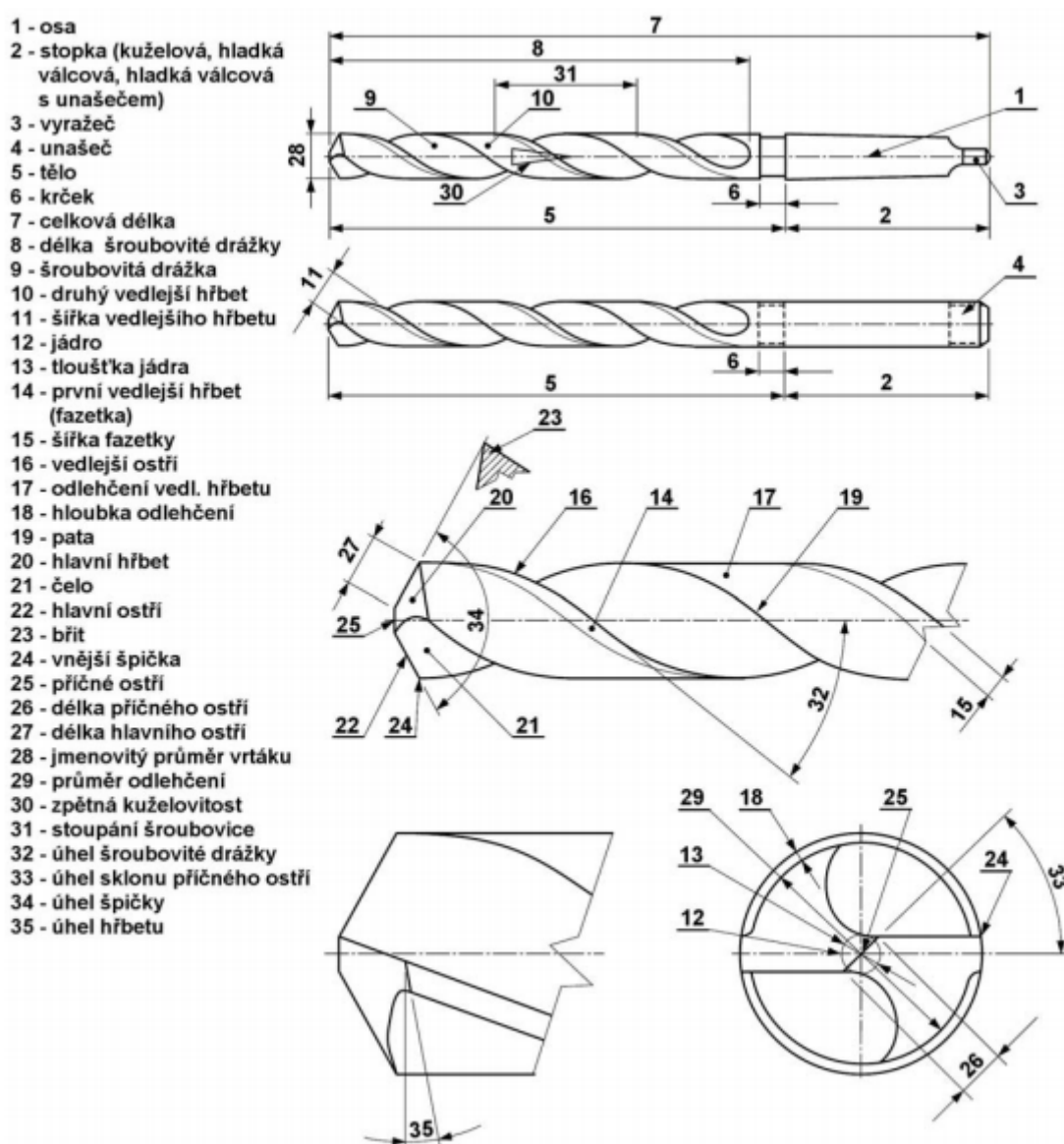
Vŕtanie do ťažkoobrobiteľných, kompozitných a nekovových materiálov ako sú napr. pryž, betón, kameň, tehly, pomocou vŕtákov sa prevádza nástrojmi so špeciálnou konštrukciou alebo geometriou.

5.1 *Nástroje – vŕtáky*

Technológia a druh vŕtania, konštrukcie a geometrie použitého vŕtáku sú dôležité aspekty pre rozdelenie vŕtákov do niekoľkých skupín.

Výstředné vrtáky – alebo inak nazývané vrtáky na stredové diery, slúžia k navrtávaniu začiatku diery do plného materiálu. Veľmi často sú používané k navrtávaniu stredového otvoru pre uchytenie materiálu do sústruhu.

Skrutkovité vrtáky – sú najčastejším nástrojom pre vrtanie krátkych dier. Majú valcovité telo vytvorené dve protiľahlé skrutkovité drážky, ktoré nám slúžia k odvodu triesky, ale napr. aj k prívodu procesnej kvapaliny do miesta rezu. Uhol stúpania skrutkovice je pre vrtáky určené k vrtaniu ocelí a liatin bežných pevností a tvrdostí $27^{\circ} \pm 5^{\circ}$. Pre vyvrtávanie materiálu s vysokou húževnatosťou majú vrtáky väčší uhol ($42^{\circ} \pm 5^{\circ}$). Uhol $12^{\circ} \pm 5^{\circ}$ majú vrtáky pre vrtanie tvrdších materiálov. [5]

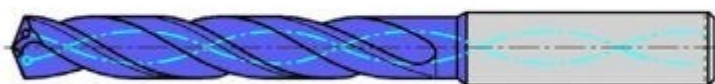


Obr. 5.6 Základné parametre skrutkovitého vrtáku [6]

Materiál pre skrutkovité vrtáky sa obvykle volí: rýchlorezná oceľ, pre ťažšie podmienky obrábania s pájkovanými doštičkami zo SK, spekané karbidy na vrtáky z monolitných materiálov bez povlakov alebo s povlakmi proti oteruvzdornosti, väčšinou na báze TiN. Skrutkovité vrtáky môžu mať diery pre centrálny prívod reznej kvapaliny a vyrábajú sa aj v prevedení s troma ostriami.[5]



Obr. 5.7 Monolitný vrták s povlakom TiN. [6]

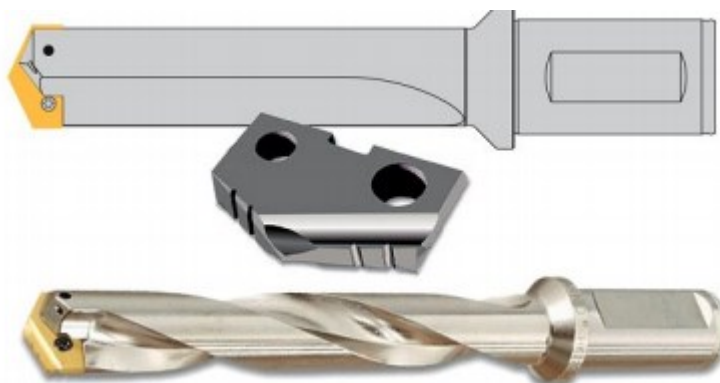


Obr. 5.8 Vrták s centrálnym prívodom [6]



Obr. 5.9 Trojrezný skrutkovitý vrták[6]

Kopijovité vrtáky sú tiež dvojrezné nástroje s priečnym ostrím a s vonkajším odvodom triesky. Majú veľkú tuhosť a umožňujú vrtáť do plného materiálu diery o priemere 10 ÷ 128mm. Dôležité je dodržať pomer dĺžky k priemeru maximálne $L/D = 3/1$. Teraz sa tieto vrtáky vyrábajú s vnútorným prívodom procesnej kvapaliny.



Obr. 5.10 Kopijovité vrtáky [6]

Vrtáky s vymeniteľnou špičkou vyrábame vo forme reznej doštičky alebo hlavice. Materiál pre výrobu doštičiek a hlavíc sa volí väčšinou spekaný karbid. Hlavice existujú s rôznou geometriou podľa obrábaného materiálu a ďalších technologických požiadavkou.

Vrtáky s vymeniteľnými reznými doštičkami – doštičky zo spekaných karbidov sú upnuté v telese držiaka pomocou skrutiek priamo alebo u väčších vrtákov pomocou kaziet, ktoré uľahčujú výmenu a chráni lôžko pred opotrebením. Z dôvodu rozdielnej reznej rýchlosti sa u niektorých vrtákov používajú na obvode doštičky s povlakovaného SK

a stredové doštičky sa volia z nepovlakovaného SK. Trvanlivosť takto zvolených doštičiek je približne rovnaká a použité sa vymieňajú súčasne.

Nepriaznivé pracovné podmienky vznikajúce pri vŕtaní sa zlepšujú použitím rôznych doštičiek, ktoré sú opatrené utváračov triesok – rieši problémy s delením triesky a jej odvodom z miesta rezu, tepelné a mechanické zaťaženie vrtáku. Takmer všetky vrtáky s vymeniteľnými reznými doštičkami majú centrálny prívod reznej kvapaliny a väčšina môže byť použitá aj pre sústruženie vnútorných alebo vonkajších valcových ploch. [5]



Obr.5.11 Vrtáky s vymeniteľnými reznými doštičkami. [6]

Ďalej používame vrtáky:

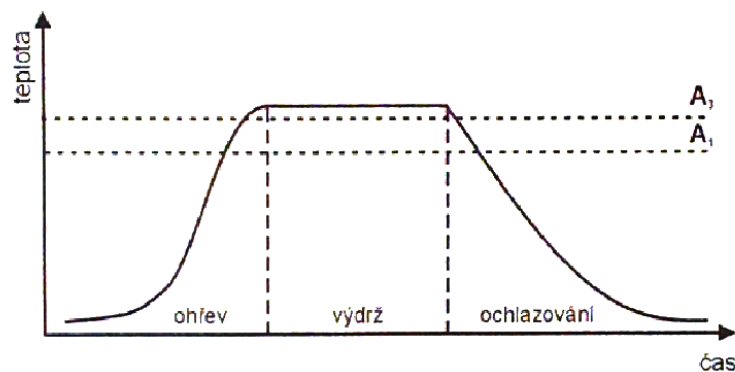
- delové a hlavňové
- Ejektorové
- STS vrtáky
- BTA vrtáky

6 Tepelné spracovanie

Tepelné spracovanie je faktorom, ktorý zásadným spôsobom ovplyvňuje vlastnosti ocele. Jeho použitím dochádza k cieľovým zmenám v štruktúre daného materiálu s využitím teplotne a časovo závislých procesov. [14]

Základný režim tepelného spracovania udávaný v súradniciach teplota a čas sa skladá z troch častí:

- Ohrev na danú teplotu
- Časové predĺženie na danej teplote
- Ochladzovanie vhodnou rýchlosťou



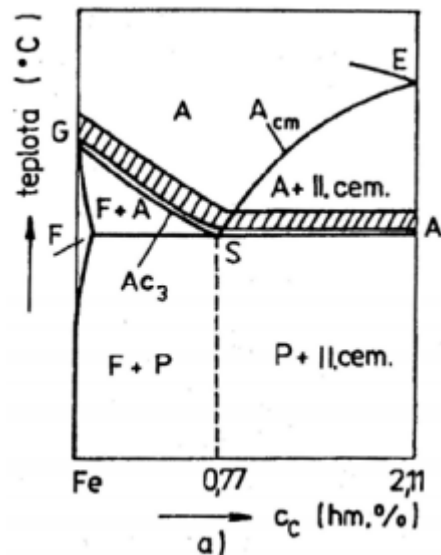
Obr. 6.1 Časový priebeh teploty pri obecnom režime tepelného spracovania: normalizačné žíhanie [4]

6.1 Žíhanie

Znakom žíhania je snaha priviesť materiál do termodynamicky rovnovážneho stavu. V prípade materiálov ako je oceľ musíme rozlišovať či dôjde k prekročeniu teploty oddeľujúcej rôzne kryštalografické varianty matrice spracovaného materiálu. Pokiaľ sa prekročí teplota alotropickej premeny, nazveme tento proces tepelného spracovania ako žíhanie s prekryštalizáciou. Dosiahnuté zmeny sa prejavajú v zmene štruktúry a tým aj mechanické vlastnosti. Druhý typ je žíhanie bez prekryštalizácie. Teplota ohrevu je nižšia ako teplota A_{c1} , tým u ocele nenastáva transformácia. [15]

6.2 Kalenie

Kalením dosahujeme nerovnovážne stavy ocele. Skladá sa z ohrevu nad prekryštalizačnú teplotu, po ktorej nasleduje rýchle ochladenie, pri ktorom sa viac či menej potlačujú možné premeny. Pri kalení podeutektoidnej ocele sa kaliace teploty nachádzajú nad teplotou Ac_3 . Zvolením nižšej teploty kalenia by sa vo výslednej štruktúre vyskytol nerozpustený ferit. Kalenie nadeutektoidnou oceľou prebieha $30 - 50^\circ\text{C}$ nad teplotou Ac_1 . Pri zvolení teploty nad A_{cm} dôjde k zhrubnutiu austenitického zrna a rozpúšťaniu sekundárneho cementitu. Zvýši sa koncentrácia uhlíka v martenzite, čo vedie k štruktúrnym pnutiam, a to je nežiaduce. Výsledkom je martenzitická alebo bainitická štruktúra. [15]



Obr. 6.2 Pásmo kalicích teplôt [15]

7 Návrh výroby pastorkového hriadeľa

7.1 Definícia hriadeľa

Pastorkový hriadeľ je hlavný hnací člen väčšiny zostáv ozubených súkolí. Prenáša vstupný výkon z hnanej časti na zbytok prevodov, aby tu odviezol prácu, pre ktorý bol prevod navrhnutý. Pastorkový hriadeľ môže prenášať tento hnací pohyb ďalej na súkolie s priamymi zubmi, alebo taktiež na kužeľové súkolie, ako napríklad u automobilového diferenciálu. Hriadele a na ne nadväzujúce ozubené kolesá sú často jednotlivé zostavy obrobené z jedného kusu materiálu. Môžu byť uložené v niekoľkých ložiskách, ktorými sú upevnené k rámu a tie sú často doplnené koncovým tesnením v prípade aplikácií obsahujúcich olejovú náplň.

Väčšina zostáv ozubených súkolí prenáša rotačný mechanický pohyb za účelom zvýšenia, alebo zníženia rýchlosti alebo výkonu. Umožňujú taktiež natočenie osy vstupného hnacieho člena k výstupnému v pravom uhle. Väčšina prevodov je hnaná vstupným hriadeľom, alebo kľukovým mechanizmom. Bežné príklady týchto vstupných hnacích členov sú napríklad automobilový diferenciál, alebo hnací mechanizmus rybárskeho navijaku. Oboje sú hnané hnacie hriadele, alebo kľukov navijaku a prenáša rotačný pohyb sústavou prevodov prostredníctvom hriadeľa. Táto hriadeľ preto tvorí prvú časť ozubeného prevodu.

Hriadele ozubených súkolí sú väčšinou opatrené jedným, alebo viacerými ozubenými kolesami, ktoré prenášajú vstupný výkon do ostatku zostavy súkolia. Veľa hriadeľov s prevodmi sú jednodielne časti, obrobené z jedného kusu materiálu. Toto zvyšuje tuhosť hriadeľa a jeho výslednú schopnosť absorbovať značné točivé momenty, pôsobiace pri prevádzke. Tento fakt však bohužiaľ tiež znamená, že pri poškodení alebo opotrebení je nutné vymeniť celok, nie iba jeden diel.

Tieto hriadele sú obvykle celkom krátke, spájajú iba medzeru medzi vstupom do prevodovky a prvým súkolím v prevode. V niektorých prevodovkách hriadeľ prechádza skrz ďalšie ložiská, alebo puzdra, ktoré podopierajú hriadeľ a zvyšujú jeho tuhosť. V tesnených prevodových skrinách, ktoré pracujú v olejovom kúpeli, je hriadeľ vybavený tesnením v mieste, kde opúšťa priestor skrine. Jednoduchšie otvorené prevody, ako napríklad manuálne otvorene dvere, alebo kľukové mechanizmy púmp sa spoliehajú iba na ručné mazanie. V niektorých súkoliach je hriadeľ s ozubeným kolesom vyrobený

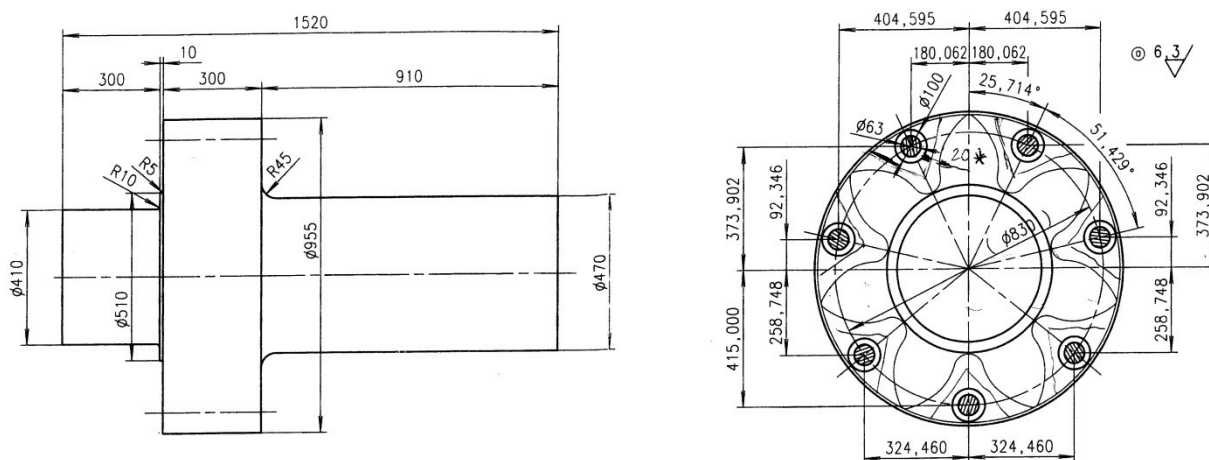
z tvrdšieho materiálu, ako hnaná časť, alebo vďaka prevodovým pomerom prichádza častejšie do kontaktu a vtedy sa viac opotrebováva. [16]

7.2 Polotovar

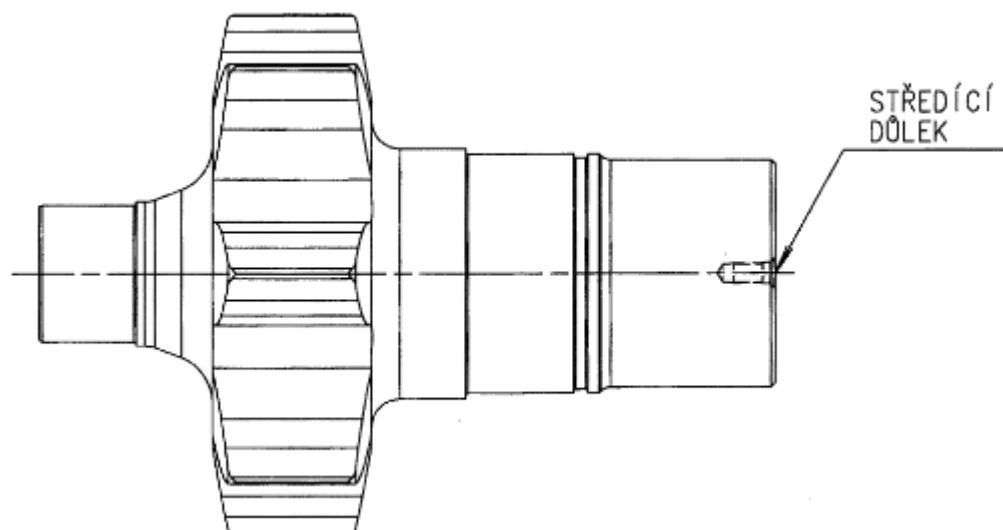
Polotovar na výrobu pastorkového hriadeľa sa dováža do Strojírny Trinec a.s., priamo z Vítkovice Gearworks a.s. Materiál polotovaru je stredne legovaná ušľachtilá chrom-nikel-molybdénová oceľ k cementovaniu. Pri počiatočnej výrobe bol pastorok bez úpravy a technológia frézovania nebola založená na vypichovaní ako môžeme vidieť na Obr. 7.1. Na pastorku sú vyvrtané diery o priemere 100mm. Technológiou vypichovania došlo k jednoduchšiemu postupu a predišlo sa výroby zmätku. Výroba bola plánovaná na 25 ks. Tepelné spracovanie a povrchovú úpravu realizuje Vítkovice Gearworks a.s. Výkres polotovaru viz. príloha A



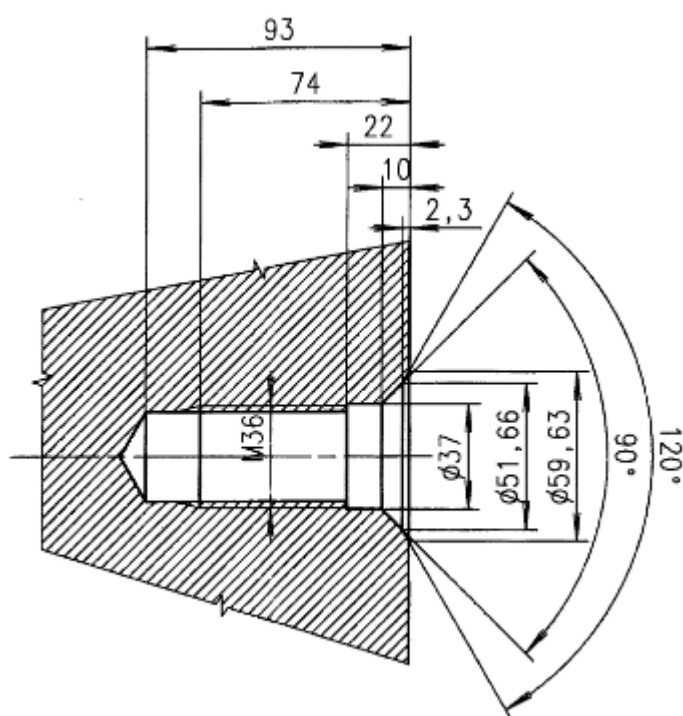
Obr. 7.1 Polotovar pastorku



Obr. 7.2 Nákres polotovaru



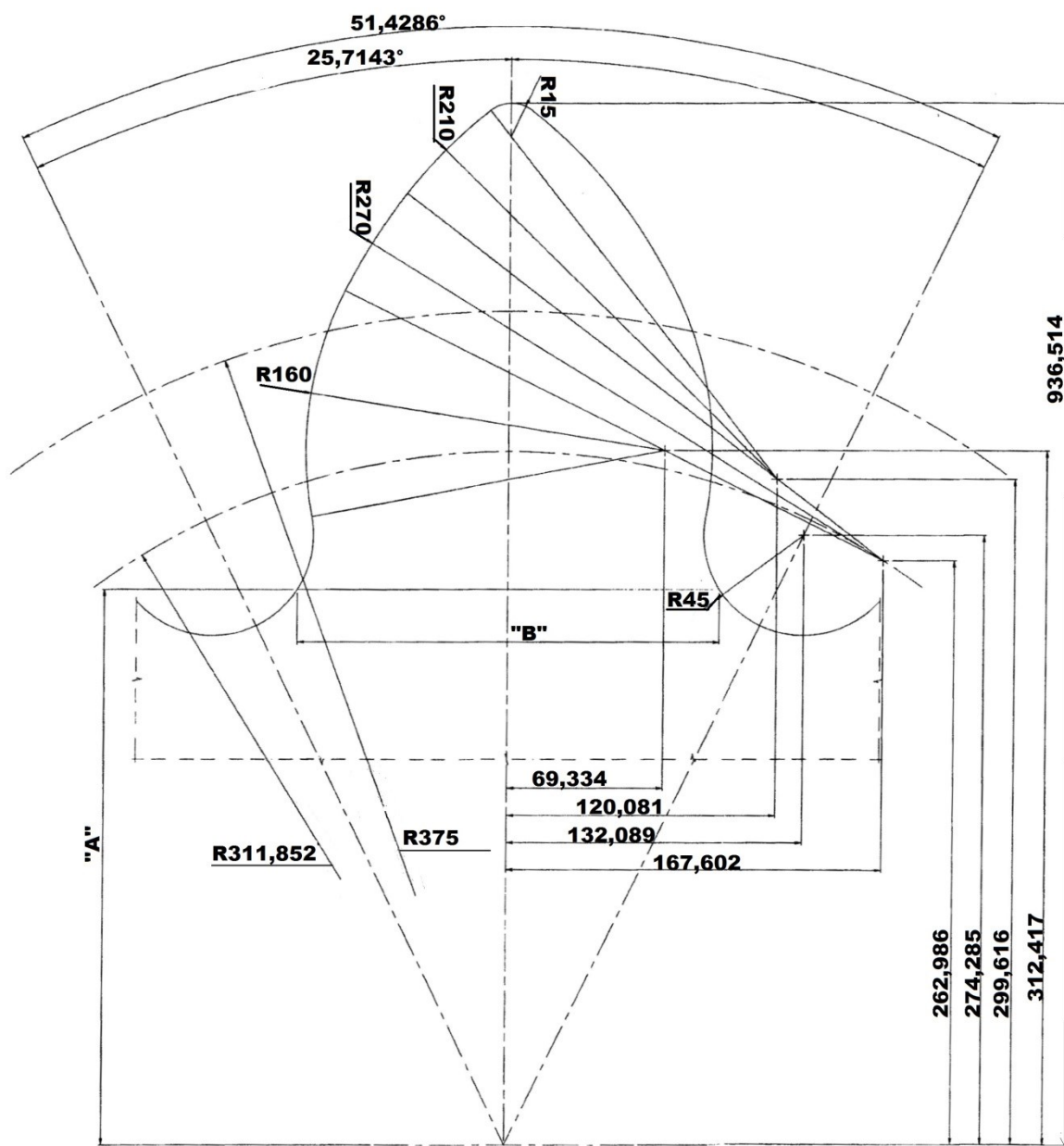
Obr. 7.3 Náčrt pastorku so stredovou dierou



Obr. 7.4 Detail stredovej diery

7.3 Tvar zuba a parametre ozubenenia

- Modul – $m = 100$ mm
- Počet zubov – $z = 7$
- Šírka zuba – $b = 280$ mm
- Uhol záber – $\alpha = 27^\circ$
- Korekcia – $x_m = 25$ mm
- Zníženie hlavy – $k = \text{cca } 3,0$ mm



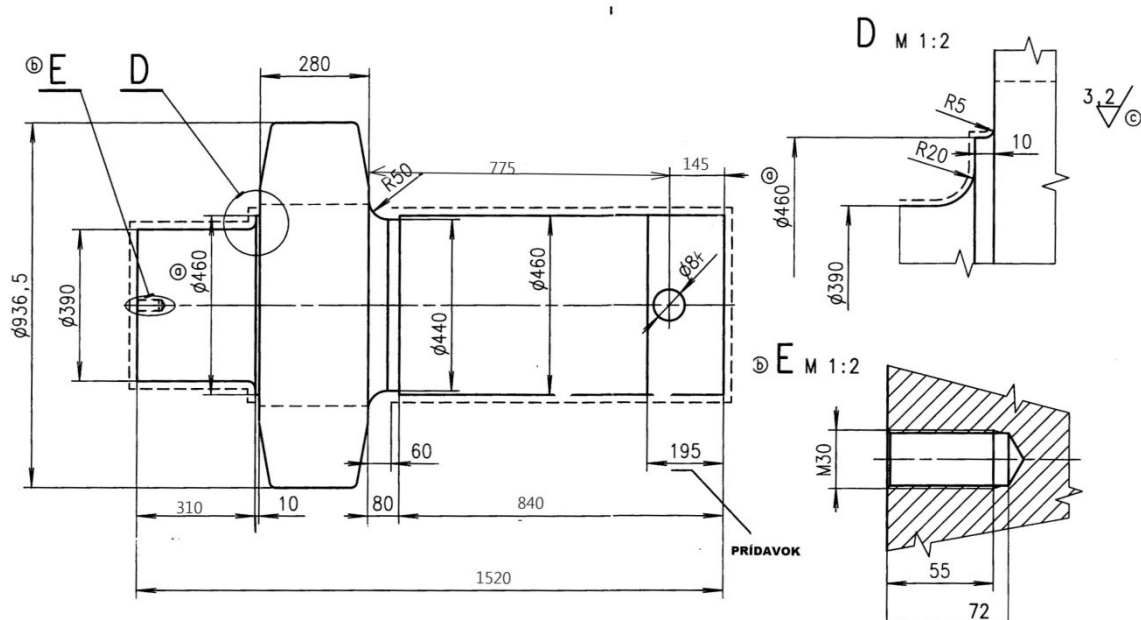
Obr.6.2 Tvar zuba

7.4 Prehľad vlastností ocele 18CrNiMo7-6 podľa ČSN EN 10084

Táto oceľ sa používa na veľmi namáhané strojné súčasti s cementovaným povrchom. Cementovaná vrstva po tepelnom spracovaní dosahuje na povrchu tvrdosť 62 až 64 HRC, zatiaľ čo jadro cementovanej súčasti je aj pri relatívne vysokej pevnosti značne húževnaté. Prísada molybdén zvyšuje prekaliteľnosť, oceľ prekaluje do hĺbky približne 60mm. Je vhodná pre dynamicky namáhané súčasti. Jej staré označenie je DIN 17210. [17]

Ochranné nátery proti cementácii

----- takto označené plochy je treba ochrániť proti cementácii



Obr. 7.1 Označenie chránených plôch

Tab.7.1 Chemické vlastnosti ocele 18CrNiMo7-6

Chemické zloženie [%]								
C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Pri kontrolovanej veľkosti austenitického zrna 0,015-0,05
0,15- 0,21	0,40	0,5- 0,9	0,035	0,035	1,5- 1,8	0,25- 0,35	1,4- 1,7	Norma nie je uvedená

Tab.7.2 Dovoľené odchýlky vo výrobku od rozboru tavby

Odchýlky [%]								
C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Pri kontrolovanej veľkosti austenitického zrna 0,015-0,05
±0,02	+0,03	±0,04	+0,005	+0,005	±0,05	±0,03	±0,05	

Tab.7.3 Mechanické vlastnosti v jadre referenčného vzorku po kalení a popúšťaní pri 150-200 °C

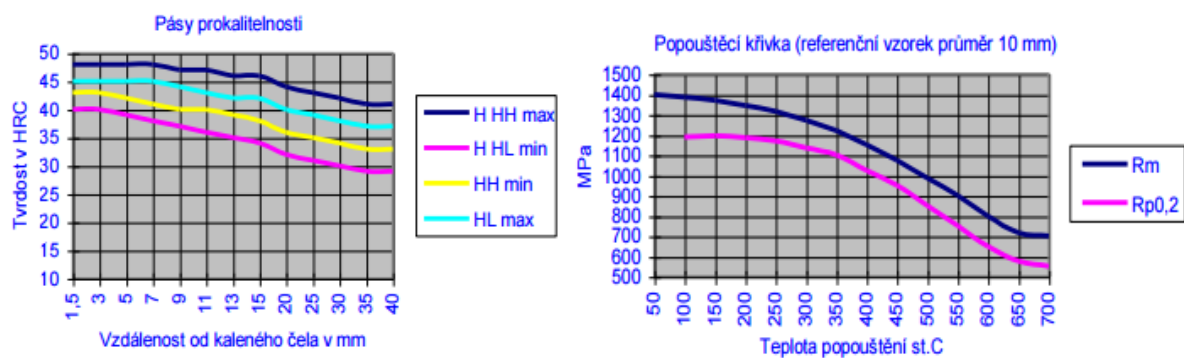
Mechanické vlastnosti					
Priemer v mm	Rp0,2min	Rm MPa	A min %	Z min%	KCU min.
d≤11	980	1230-1520	9	-	30
11<d≤25	735	980-1320	9	-	35
25<d≤50	640	885-1080	10	-	35
50<d≤100	490	685-980	11	-	35

Tab.7.4 Hodnota tvrdostí HB pre stav:

Tvrdosť [HB]			
Spracovanie na	Žihanie na	Spracovanie na hrane	Spracovanie na feriticko-
Max. 255	Max. 229	179-229	159-207
Stav po valcovaní	Stav po	Žihanie na globulárny cementin (tv. Za studena)	
Cca 270	Cca 260	Max 180	

Tab.7.5 Prekalitel'nost'

Druh	Meza	Vzdialenost' od plochy kaleného čelo v mm – Tvrdost' v HRC												
		1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40
H	Max	48	48	48	48	47	47	46	46	44	43	42	41	41
	Min	40	40	39	38	37	36	35	34	32	31	30	29	29
HH	Max	48	48	48	48	47	47	46	46	44	43	42	41	41
	Min	43	43	42	41	40	40	39	38	36	35	34	33	33
HL	Max	45	45	45	45	4	43	42	42	40	39	38	37	37
	Min	40	40	39	38	37	36	35	34	32	31	30	29	29



Obr.7.2 Grafy prekalitel'nosti [17]

7.5 Súčasný technologický postup

Tab. 7.6 Súčasný technologický postup

Strojírny a stavby Třinec a.s.		Detailní technologický postup 1		DTP ČÍSLO		STRANA: 1 z 1	
Názov celku		Prevodovka		936			
Súčasť		Pastorkový hriadel'					
Číslo výkresu		12509-10005-120					
Výrobní príkaz		3520201028					
Mat. obrobku	18CrNiMo7	Prevádzka	DM	Mat. obrobku	18CrNiMo7	Prevádzka Aktualizace	
Pracovisko	Pracovné miesto	POPIS PRÁCE				Číslo prípravku Alebo výrobní pomôcka	
519 (517)	360 (366)	Zavŕtať dĺžku C-12/90°, vŕtať rezať závit M30 hrana 5x45° Čela nezarovnávať ponechať značenie					
408	225	Upnúť medzi hroty – sústružiť v drsnosti Ra 3,2 podľa náčrtu 2B (3PS-011904) Revízia F VBD na prerušovaný rez drsnosť R50				Nôž R 50, R 20, R15 Na stroji 225	
19	Kontrola	Premerať zhotoviť rozmerový protokol podľa PKZ Preniesť značení na zubové medzere					
517	366	Upnúť na kocku a prizma – hrubovať tvar podľa programu č.v 12509-10005-130 s prídavkom 1mm/pl. Rohová fréza ø 80 VBD ADMX 16 n= 450, vf= 300mm/min, ap 3mm Hladit rohová fréza ø 80 VBD ADEX160608SR-FM 8240 n= 600ot/min, vf= 600mm/min, ap 7mm Vo vzdialenosti 775 od čela pastorku vŕtať otvor ø 84 vrták HTS Otvor orientovať voči značeniu na čele víz. Príloha				Frézovacia hlava VBD Upínací tří vo výdajni pod číslo 936	
19	Kontrola	Drsnosť, skúška MPI podľa požiadavky na výkrese – atest					
901	Zámočník	Úprava drsnosti ozubení – šmirgľovanie prechodov, odhliť,prípraviť k expedícií. Prípravok na prevoz dodá zákazník.					
19	Výstupná kontrola	Rozmerový protokol podľa PKZ, atest MPI					

7.6 Návrh novej technológie výroby

Tab. 7.7 Návrh novej technológie výroby

Strojírny a stavby Třinec a.s.		Detailní technologický postup 2		DTP ČÍSLO		STRANA: 1 z 1	
Názov celku		Prevodovka		936			
Súčasť		Pastorkový hriadeľ					
Číslo výkresu		12509-10005-120					
Výrobní príkaz		3520201028					
Mat. obrobku	18CrNiMo7	Prevádzka	DM	Platnosť	Trvalá	Dátum Aktualizácia	
Pracovisko	Pracovné miesto	POPIS PRÁCE				Číslo prípravku Alebo výrobní pomôcka	
519 (517)	360 (366)	Zavŕtať dĺžku C-12/90°, vŕtať rezať závit M30 hrana 5x45° Čela nezarovnávať ponechať značenie					
408	225	Upnúť medzi hroty – sústružiť v drsnosti Ra 3,2 podľa náčrtu 2B (3PS-011904) Revízia F VBD na prerušovaný rez drsnosť R50 Hrubovanie: n= 18ot/min,f= 0,6mm/ot, ap 12mm Na čisto: n= 23ot/min,f= 0,25mm/ot, ap 3mm				Nôž R 50, R 20, R15 Na stroji 225	
19	Kontrola	Premerať zhotoviť rozmerový protokol podľa PKZ Preniesť značení na zubové medzere					
517	366	Upnúť na kocku a prizma – vypichovať do diery Ø 100 Rohová fréza Ø 180 VBD SDMT 120508SR-M n= 190ot/min, vf= 300mm/min, ap 3mm Hrubovať rohovú frézu Ø 80 VBD CNM 563 n= 470 ot/min, vf= 300mm/min, ap 7mm dokončovanie hladíť Ø 80 VBD ADEX 160608SR- FM, prídavok po hrubovaní 2mm n= 600 ot/min, vf= 600mm/min 1. hladíaca trieska 1,8mm 2. 0,2mm Vo vzdialenosti 775 od čela pastorku vŕtať otvor Ø 84 vrták HTS Otvor orientovať voči značeniu na čele viz. Príloha				Frézovacia hlava VBD Upínací trň vo výdajni pod čísлом 936	
19	Kontrola	Drsnosť, skúška MPI podľa požiadavku na výkrese – atest					
901	Zámočník	Úprava drsnosti ozubení – šmirgľovanie prechodov, odhliť,prípraviť k expedícií. Prípravok na prevoz dodá zákazník.					
19	Výstupná kontrola	Rozmerový protokol podľa PKZ, atest MPI					

7.7 Sústruženie pastorkového hriadeľa

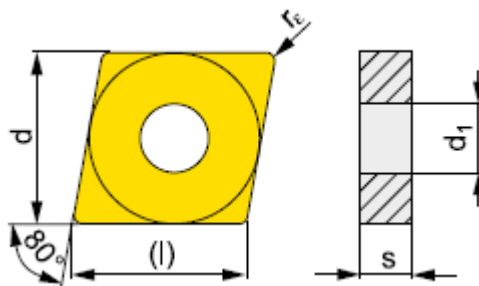
Polotovár pastorkového hriadeľa sa sústruží na požadovaný priemer ešte pred výrobou ozubenia. Na sústruženie bol navrhnutý hrotový sústruh SUT 200T. Najskôr predvádzame hrubovanie, potom dokončovanie na čisto. Na hrubovanie boli navrhnuté VRD CNMM 190612E-OR;6630, a na dokončovanie sa používajú VRD DNMG 150608EL-SI;6630.

Materiál 6630:

- najuniverzálnejší materiál rady 6000
- funkčne gradientný substrát
- stredný povlak s nosnou vrstvou TiCN nanesený metódou MTCVD
- dokončovacie až hrubovacie sústruženie - obrábanie materiálov skupín P, M a ďalej K a podmienene aplikovateľný aj pre skupinu S
- stredné a podmienene vyššie rezné rýchlosti
- neprerušovaný aj prerušovaný rez [18]

Parametre VRD CNMM 190642E-OR

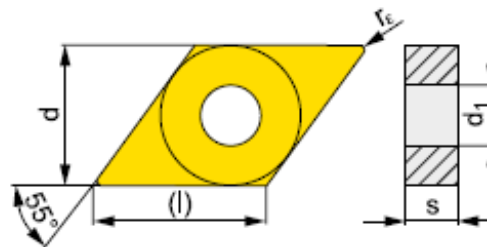
- $R\epsilon = 1,2$
- $f_{\min} = 0,35 \text{ mm/ot}$
- $f_{\max} = 0,90 \text{ mm/ot}$
- $ap_{\min} = 3,0 \text{ mm}$
- $ap_{\max} = 10 \text{ mm}$



Obr.7.3 VRD CNMM [10]

Parametre VRD DNMG 150608EL-SI

- $R\epsilon = 0,8$
- $f_{\min} = 0,20 \text{ mm/ot}$
- $f_{\max} = 0,48 \text{ mm/ot}$
- $ap_{\min} = 0,8 \text{ mm}$
- $ap_{\max} = 4,5 \text{ mm}$



Obr. 7.4 VRD DNMG [10]

Hrubovanie

$n = 18 \text{ ot/min}$, $f = 0,6 \text{ mm/ot}$, $a_p = 12 \text{ mm}$,

Dokončovanie

$n = 23 \text{ ot/min}$, $f = 0,25 \text{ mm/ot}$, $a_p = 3 \text{ mm}$



Obr. 7.5 sústruženie pastorku

Hrotový Sústruh Škoda SUT 200 parametre:

- | | |
|---------------------------------------|----------------|
| • výška stredov nad lôžkom | 1000 mm |
| • max. priemer nad lôžkom | 2020mm |
| • max. priemer na otočenie nad lôžkom | 1600mm |
| • max. vzdialenosť medzi hrotmi | 11000mm |
| • max. hmotnosť | 60t |
| • hlavný motor | 82kw |
| • rýchlosť vretena | 0,3-180 otáčok |

7.8 Frézovanie pastorkového hriadeľa

Na frézovanie zubov pastorkového hriadeľa sme zvolili stroj – vodorovnú vyvrtávačku W 160HC. Zuby sa frézujú v horizontálnom smere rohovými frézami. Pri počiatočnej výrobe sa od začiatku frézovalo frézou $\varnothing 80$ a to S88CN a dokončovalo sa frézou S90AD16E. V našom experimente sme použili najprv rohovú frézu $\varnothing 180$ S90SD12, ktorá sa dala vyrobiť na zákazku, pretože sa vyrába iba do priemeru 160. Potom sa zaoblenie v zubovej medzere dofrézovalo frézou S88CN a nakoniec na dokončovanie sme použili frézu S90AD16E.



Obr. 7.6 S88CN (4 zuby)



Obr. 7.7 S90SD12 ($\varnothing 180$, 10 zubov) [10]



Obr. 7.8 S90AD16E [10]

Vodorovná vyvrtávačka W 160 HC

- Pracovný priemer vretena – 1600mm
- Kužel vretena – ISO 60
- Vysunutie pracovného vretena /z/ - 1250 mm
- Osa /x/ - 4000mm
- Pojazd vretena po stojane /y/ - 2500 mm
- Otočný stôl – Typ S35C
- Digitálne meranie troch súradníc stroja a dvoch súradníc stolu



Obr. 7.9 Frézovanie na vodorovnej vyvrtávačke W 160 HC



Obr. 7.10 hotový pastorkový hriadeľ

8 Technicko-ekonomické zhodnotenie

Sadzobník pracoviska č. 408 hrotový sústruh za 1 minútu práce

- Mzda – 2,2 Kč
- Réžia – 11,481 Kč
- Náklady – 13,681 Kč
- Zisk 0,684 Kč
- Celkom – 14,365 Kč

Sadzobník pracoviska č. 517 vodorovná vyvrtávačka za 1 minútu práce

- Mzda – 2,2 Kč
- Réžia – 21,593 Kč
- Náklady – 23,793 Kč
- Zisk – 1,190 Kč
- Celkom 24,983 Kč

Sadzobník pracoviska č. 901 zámočník za 1 minútu práce

- Mzda – 2,2 Kč
- Réžia – 2,602 Kč
- Náklady – 4,802 Kč
- Zisk – 0,240 Kč
- Celkom – 5,042 Kč

Čas práce a zisk sa pri pracovisku č. 408 hrotový sústruh a pracovisku 901 zámočník sa nemenil nakoľko nedošlo k žiadnym zmenám vo výrobe. Pri výrobe 25 ks sú teda hodnoty uvedené v tabuľke. Celkový čas výroby na pracovisku 408 bol 35000minút. Na pracovisku 901 to bolo 2090 minút.

Tab.8.1 Zhodnotenie výroby na pracovisku 408

Sadzba pri výrobe 25ks na pracovisku 408 hrotový sústruh v Kč				
Mzda	Réžia	Náklady	Zisk	Celkom
77000	401834,13	478834,13	23940	502774,13

Tab.8.2 Zhodnotenie výroby na pracovisku 901

Sadzba pri výrobe 25ks na pracovisku 901 zámočník v Kč				
Mzda	Réžia	Náklady	Zisk	Celkom
4598	5437,89	10035,89	501,60	10537,49

Pri výrobe na pracovisku 517 vodorovná vyvrtávačka sa prvé 3 kusy frézovali s nepredvrtanými dierami. Čas práce na tomto pracovisku vychádzal na jeden kus približne 48,5 hodín čo je 2910 minút. Pri výrobe 25ks by sme teda na pracovisku č. 517 dosiahli čas 1212,5 hodín čo je 72750min. Novo navrhnutými parametrami a vyvrtaním dier sme dospeli k podstatnému zníženiu času vo výrobe. Porovnanie vid' Tab.7.3.

Tab.8.3 Porovnanie na pracovisku č.517

Porovnanie času a mzdy na pracovisku č. 517				
Čas výroby jedného ks (stará metóda)	Čas výroby jedného ks (nová metóda)	Ušetrený čas vo výrobe na jeden ks	Zisk z ušetreného času 1ks	Zisk z ušetreného času 22ks
2910 min	2454 min	456 min	542,64 Kč	11938,08 Kč

Celkový čas výroby na pracovisku 517 : **62 718** minút

Celkový čas výroby na pracovisku 517 pred návrhom novej výroby by bol **72750** minút.

Tab. 8.4 Sadzba vo výrobe pracovisko 517

Sadzba pri výrobe 25ks na pracovisku 517 vodorovná vyvrtávačka v Kč				
Mzda	Réžia	Náklady	Zisk	Celkom
137979,6	1354269,77	1492249,37	74634,42	1566883,79

9 Záver

Cieľom tejto diplomovej práce bolo navrhnúť technológiu výroby špeciálneho ozubenia pastorkového hriadeľa, stroje nástroje a rezné parametre zvoliť tak aby sa dosiahlo čo najkvalitnejšieho obrobenia pastorkového hriadeľa. Každá firma sa snaží zlepšiť, teda zrýchliť výrobu aby dosiahla čo najvyššieho zisku.

Počiatočná výroba ozubenia bola založená na frézovaní ozubenia na vodorovnej vyvrtávačke kde bol veľmi vysoký čas obrábania. Preto bolo navrhnuté vyvrtanie dier o priemere 100 mm kedy došlo k podstatnému skráteniu času obrábania. Toto vyvrtávanie bolo realizované vo Vítkovice Gearworks a.s. Tak isto boli navrhnuté nové parametre tak, aby sa dosiahlo čo najvyššieho využitia stroja a čo najlepšieho obrobenia pastorkového hriadeľa. Výroba bola plánovaná na 25 ks. Prvé 3 kusy boli obrobené súčasným technologickým postup. Na ostatnú výrobu sa použil nový návrh výroby ozubenia. Čas výroby jedného kusu trval 2910 minút a po navrhnutí novej výroby 2454 minút, čím je ušetrených na kus 456 minút. Na jeden kus sa tak ušetrilo v priemere 543Kč. Údaje o úsporách času a zisku sú uvedené v Tab. 9.1.

Tab.9.1 Zhodnotenie

Počiatočná výroba		Nová výroba	
čas výroby 1ks	čas výroby 25ks	čas výroby 1ks	čas výroby 25ks
2910 min.	72750 min.	2454 min.	62718 min.
Úspora vo výrobe			
Úspora času na 1ks	Úspora času na 25ks	Zisk z 1 ks	Zisk z celej výroby
456 min.	10032 min.	542,64 Kč	11938,08 Kč

Návrhom novej výroby sa došlo k záveru, že bolo ušetrených 13,79% z navrhovaných nákladov.

Pod'akovanie

Týmto by som chcel poďakovať vedúcej mojej diplomovej práce doc. Ing. Robert Čep, Ph.D. z katedry obrábania a montáže VŠB – TU Ostrava za podnety k riešeniu práce. Ďalej tiež ďakujem Ing. Pavlovi Adamiecovi za poskytnutie cenných rád pri uskutočnení experimentu a firme Strojírny a stavby Třinec, a.s. za umožnenie vykonávať prácu v ich podmienkach.

V Ostrave, dňa 18. 5. 2015

Bc. Peter Jurdík

10 Použité zdroje

- [1] *Strojírny a stavby Trinec, a.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.sas-trinec.cz/soucasnost/>
- [2] *VÍTKOVICE MACHINERY GROUP* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.ozubarna.cz/web/guest/profil>
- [3] VLACH, Bohumil. *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 464 s. ISBN 80-030-0143-9.
- [4] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, 2009, 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [5] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II: 2. díl*. Ostrava: VŠB - TU OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [6] HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění - 2. část* [online]. Brno, 2004, 94 s. [cit. 1.5.2015]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [7] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 104 s. ISBN 80-248-0672-x.
- [8] HOSNEDL, Stanislav a Jaroslav KRÁTKÝ. *Průručka strojního inženýra: obecné strojní části*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2000, viii, 198 s. Edice strojaře. ISBN 80-7226-202-5.
- [9] *WENZEL Präzision GmbH* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.wenzel-group.com/praezision/en/products/geartec/wgt-gear-testers.php?we_ID=2552#
- [10] *Úvodní strana - Pramet* [online]. 20215 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.pramet.cz/>
- [11] HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění - 1. část* [online]. 1. vyd. Brno, 2003, 138 s. [cit. 2.5.2015]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf

- [12] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2
- [13] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II: 1. díl*. Ostrava: VŠB - TU OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [14] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I [základní]*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 133 s. ISBN 80-248-0870-6.
- [15] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu 2*. 2. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [16] *What Is a Pinion Shaft?* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.wisegEEK.com/what-is-a-pinion-shaft.htm>
- [17] *Bolzano: Přehled vlastností oceli 18CrNiMo7-6* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-cementovani-podle-en-10084/prehled-vlastnosti-oceli-18crnimo7-6>
- [18] *M&V: E-KATALOG pro nakupování* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://katalog.mav.cz/data/upload/files/44677-1_rezne-materialy-vbd-pro-soustruzeni.pdf

11 Zoznam príloh

Príloha A – Výkres pastorkového hriadeľa